

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE
Faculté des lettres et sciences humaines
Département de géomatique appliquée
Maîtrise en sciences géographiques

Solutions Web pour la diffusion de données acquises à l'aide d'un aéronef sans pilote (ASP)

Par
Georges Solocha

Travail présenté à
Yves Voirin

Essai présenté pour l'obtention du grade de Maître ès sciences géographiques (M.Sc.)
Cheminement en géodéveloppement durable

JUILLET 2018

© *Georges Solocha, 2018*

Table des matières

Table des matières	I
Liste des annexes.....	III
Liste des figures	IV
Liste des tableaux	VII
Glossaire et acronymes.....	VIII
1. Introduction.....	10
1.1. Mise en contexte.....	10
1.2. Problématique.....	10
1.3. Objectifs.....	13
2. Cadre théorique	13
2.1. Les aéronefs sans pilote à bord	13
2.1.1. Équipements (capteurs).....	13
2.1.2. Classification des drones	17
2.1.3. Aspects réglementaires de l'utilisation des drones	19
2.2. Logiciels spécifiques aux drones.....	21
2.2.1. Les logiciels de navigation.....	21
2.2.2. Les logiciels d'acquisition et de traitement des données de drones.....	23
2.3. Technologies utilisées dans la cartographie sur Internet.....	25
2.3.1. Généralités.....	25
2.3.2. Composition d'un SIG Web	28
2.3.2.1. Les clients.....	29
2.3.2.2. Les serveurs.....	36
2.3.2.3. Les bases de données.....	38
3. Site d'étude et acquisition de données	38
3.1. Présentation et géographie du site	38

3.2. Présentation du drone	40
3.3. Collecte de données.....	42
3.4. Les normes utilisées par les drones	44
4. Méthodologie.....	48
4.1. Conception et développement du projet.....	48
4.1.1. Recherche bibliographique (2D et 3D).....	49
4.1.2. Analyse des approches possibles (2D et 3D)	50
4.1.3. Sélection des outils de l'approche (2D et 3D).....	50
4.2. Approche proposée	50
4.3. Préparation ou planification de l'acquisition.....	51
4.4. Traitement de données.....	53
4.5. La création d'une cartographie Web des données	56
4.5.1. Obtention des images 2D et 3D pour le SIG Web	56
4.6. Exploitation des résultats.....	64
4.7. Évaluation des résultats	66
5. Résultats.....	71
5.1. Plans 2D.....	71
5.2. Image 3D.....	72
5.3. Image 3D dans le navigateur Web.....	73
5.4. Comparaison de mesures.....	75
6. Analyse et discussion des résultats.....	76
6.1. Temps de traitement	76
6.2. Obtention d'une image 2D ou 3D	76
6.3. Qualité des résultats.....	77
6.4. Intérêt de la méthode	78
7. Conclusion et recommandations.....	78
8. Références.....	79

Liste des annexes

Annexe 1 - Caractéristiques techniques du DJI Phantom 3 Pro.....	83
Annexe 2 - Permission pour l'usage d'un drone	86
Annexe 3 – Exemple de code JavaScript pour ajout d'un menu.....	87

Liste des figures

Figure 1- Schéma du drone DJI Phantom (source : DJI, 2016)	14
Figure 2 - Classification des UAV selon Transports Canada	18
Figure 3 - Règlements TC applicables aux drones.....	20
Figure 4 – SIG Web représentant le futur projet de REM versus les zones écologiques protégées (source : AirQuebec, 2017)	26
Figure 5- Carte réalisée par satellite (source : Drone Made Easy, 2018).....	27
Figure 6 - Carte produite par un drone (avec zoom) (source : Drone Made Easy, 2018)	28
Figure 7- API Google Maps utilisée par Litchi Mission Hub	31
Figure 8 - Google Earth.....	33
Figure 9 - VTS 3D Geospatial Software Stack (Extrait de Melown).....	34
Figure 10 - Melown Cloud.....	35
Figure 11- Sketchfab (source: Sketchfab, 2018b).....	36
Figure 12 - Carte de l'Île-Perrot (Extrait de Google Maps)	39
Figure 13 - Situation de la zone de vol (Extrait de Google Maps).....	40
Figure 14 - Drone DJI Phantom 3 Pro (source: Expert Reviews, 2015).....	41
Figure 15 - Exemple d'image prise par le drone (exemple 1)	43
Figure 16 - Exemple d'image prise par le drone (exemple 2)	44
Figure 17 - Choix du format photographique sur DJI GO (source : DJI Forum, 2017)	45
Figure 18 - Métadonnées d'une image de vol.....	47
Figure 19 - Organigramme méthodologique	48

Figure 20 - Schéma méthodologique	51
Figure 21 - Interface de planification de mission sur DroneDeploy	52
Figure 22 - Alignement des photographies (source : Agisoft Photoscan, 2018)	55
Figure 23 - Résultat Agisoft Photoscan (source : Agisoft Photoscan, 2018)	55
Figure 24 - Importation du fichier dans Sketchfab	57
Figure 25 - Sauvegarde du fichier dans Sketchfab.....	57
Figure 26 - Interface graphique de Melown Cloud	58
Figure 27 - Téléversement du fichier sur le serveur Melown Cloud.....	59
Figure 28 - Interface Melown Cloud une fois le fichier .TLS importé sur le serveur.....	60
Figure 29 - Exportation du fichier .TLS en "Ressource Melown"	60
Figure 30 - Création d'une carte à partir de la "Ressource"	61
Figure 31 - Publication de la carte achevée.....	61
Figure 32 - URL de la model 3D avec description du JS code	62
Figure 33 – Model 3D avant et après personnalisation (source : Melown, 2018)	63
Figure 34 - Ajout d'un menu (source : Melown, 2018)	63
Figure 35 - Visualisation du résultat sur Google Earth & Outil de mesure Google Earth	64
Figure 36 - Visualisation de l'image 3D (source : SketchFab, 2017)	65
Figure 37 - Visualisation de l'image 3D (source : Melown, 2018).....	65
Figure 38 - Mesure Google Earth d'une plaque d'égout.....	67
Figure 39 - Mesure manuelle du diamètre d'une bouche d'égout.....	68
Figure 40 - Mesure du bâti sur Google Earth.....	69

Figure 41 - Mesure du bâti sur le document (plan cadastral).....	69
Figure 42 - Mesure Google Earth (diamètre piscine).....	70
Figure 43 - Mesure Google Earth (longueur voiture « Saturn Vue »).....	70
Figure 44 - Plans 2D sur Google Earth (format KMZ)	72
Figure 45 - Résultat obtenu dans AgisoftPhotoscan.....	73
Figure 46 - Image 3D dans un outil WEB(Melown) (source : Melown, 2018)	74
Figure 47 - Image 3D dans un outil WEB(Sketchfab) (source : Sketchfab, 2018b).....	74

Liste des tableaux

Tableau 1 – Instruments et équipements du drone	15
Tableau 2– Logiciels de navigation.....	22
Tableau 3– Logiciels de modélisation 3D (source : Manjaro, 2017)	25
Tableau 4 - Comparaison de mesures.....	75

Glossaire et acronymes

API	Application Programming Interface
ADR	Automotive Data Research
COAS	Certificat d'Opérations Aériennes Spécialisées
FPV	First Person View
GLONASS	Système global de navigation satellitaire (en russe)
GML	Geographic Markup Language
GPS	Global Positioning System
JPEG	Joint Photographic Experts Group
KML	Keyhole Markup Language
LIDAR	Light Detection and Ranging
MB	Megabytes
OGC	Open Geospatial Consortium
OSM	OpenStreetMap
RAW	Format de fichier d'image brute du capteur numérique
SIG	Système d'Information Géographique
TC	Transports Canada

UAV Unmanned Aerial Vehicle

WFS Web Feature Service

WMS Web Map Service

1. Introduction

1.1. Mise en contexte

La numérisation de terrain est une procédure en demande dans divers domaines administratifs et/ou de construction (architecture, séismologie, assurances, administration municipale, etc.). Habituellement, cette numérisation est effectuée via certaines technologies : la technologie LIDAR (Lidar, 2016), l'imagerie satellitaire ou encore l'imagerie aérienne. Avec le temps, toutefois, de nouvelles technologies ont commencé à émerger. Les capteurs embarqués, en particulier, ont connu un développement considérable grâce à l'avènement des drones. L'utilisation des drones dans le domaine civil est devenue courante. En effet, ces dernières années, nous avons assisté à la démocratisation de ces appareils. Les drones et les capteurs embarqués sont de plus en plus accessibles en termes de prix, et de plus en plus performants en termes d'imagerie et de précision. L'utilisation de ces technologies pour la collecte de données devient donc de plus en plus avantageuse et peut servir à la recherche en géomatique (Colomina *et al.*, 2014).

1.2. Problématique

Comme nous l'avons mentionné précédemment, les numérisations de terrain sont classiquement réalisées via la technologie LIDAR, les images satellitaires ou les images aériennes (Remondino *et al.* 2011 ; Rokhmana, 2015). Chacune de ces méthodes présente des limitations. Les numérisations de terrain LIDAR sont extrêmement précises, mais elles présentent un inconvénient majeur : comme l'équipement nécessaire est très onéreux, les numérisations LIDAR sont, par extension, très coûteuses elles aussi (Lidar, 2016). Les images satellitaires, quant à elles, ont l'avantage de

pouvoir être prises pratiquement partout sur la planète sans avoir besoin d'accéder physiquement à la zone visée. Cela élimine également les difficultés liées à des zones difficiles d'accès (Kerle, 2002). Toutefois, comparées à d'autres méthodes, les images satellitaires ont une résolution limitée (généralement de l'ordre du m/pixel) (Kerle, 2002 ; Krishna 1988 ; Turner *et al.*, 2011). Les images aériennes sont une alternative intéressante aux images satellitaires car leur résolution est quelque peu supérieure à celle des images satellitaires (typiquement de l'ordre de quelques dm/pixel) (Krishna, 1988 ; Rokhmana, 2015). Les images aériennes sont cependant coûteuses à obtenir en raison de l'équipement requis (Rokhmana, 2015 ; Remondino *et al.*, 2011). La prise d'images aériennes est également limitée dans certaines zones en raison de restrictions légales ou tout simplement parce que l'avion ne peut survoler certaines zones ayant trop d'obstacles. En raison de cela, il serait intéressant de trouver une alternative qui permettrait de limiter le plus possible ces inconvénients.

Les drones représentent un potentiel non négligeable pour les recherches et analyses basées sur la collecte de données par imagerie aérienne. En effet, les capteurs embarqués sur drones présentent des avantages au niveau de la précision et de la qualité de l'image. Ce type de capteur peut voler à une altitude beaucoup plus faible qu'avec les autres méthodes et donc capturer des images ayant une résolution bien supérieure (pouvant aller jusqu'au cm/pixel) (Turner *et al.*, 2011). De plus, le coût des images réalisées avec des drones est beaucoup plus faible que celui des images satellitaires ou aériennes. Les drones se démarquent donc par rapport aux plateformes traditionnelles. Toutefois, ces nouvelles technologies nécessitent une nouvelle connaissance pour parfaitement les maîtriser

afin d'obtenir des produits exploitables et précis. Le développement d'une méthode d'acquisition et de diffusion de données de drones peut être efficace et peu coûteuse.

Un autre aspect des méthodes de numérisation actuelles est sujet à amélioration. Il s'agit des difficultés liées à la manipulation de données à ultra-haute résolution. Pour obtenir un résultat de qualité, la numérisation d'un terrain implique que les données récoltées aient un minimum de résolution. Or, plus la résolution des données est élevée, plus ces données sont volumineuses et lourdes à manier. Par conséquent, pour manier les données obtenues, il est souvent nécessaire d'avoir des ordinateurs très puissants ainsi que des logiciels géomatiques spécialisés. Ce type d'équipement est souvent très cher ou difficile d'accès. Pour éviter ce problème, de nouveaux services, comme AgisoftPhotoscan ou DroneDeploy, sont offerts faisant appel à des outils Web pour intégrer les données de drone. Or actuellement il est difficile de connaître la qualité de produits offerts par ce genre de services. L'intégration et le traitement sont réalisées directement sur un serveur. La consultation et la visualisation des résultats peuvent simplement se faire via un navigateur Web. Cette façon de procéder évite au client d'avoir besoin d'un ordinateur ou d'outils professionnels de géomatique. Bien que l'intérêt d'une telle manière de faire soit évident, il est important d'évaluer la qualité des produits fournis pour donner suite aux traitements. Il est aussi important de vérifier la faisabilité d'intégrer les produits obtenus dans des outils Web classiques. Le présent projet de recherche est de trouver des solutions pour l'intégration des données issues de drones à l'intérieur d'outils de géomatique sur le Web.

1.3. Objectifs

L'objectif principal est de développer une approche permettant la diffusion sur internet des données collectées par un drone pour un usage en cartographie et en modélisation 2D ou 3D.

Les objectifs secondaires sont :

- Intégrer les données des drones d'ultra-haute résolution dans des outils de géomatique sur internet ;
- Réaliser des images 3D à partir des données récoltées par drones ;
- Développer une méthode de récolte et d'analyse d'images servant à la cartographie sur le Web.

2. Cadre théorique

2.1. Les aéronefs sans pilote à bord

Afin de mieux comprendre la cartographie par drones, il est important de définir le domaine de l'acquisition des données par drone. Les drones disposent d'équipements équivalents à ce que l'on peut retrouver sur une plateforme aérienne ou spatiale. Il faut toutefois noter qu'une législation spécifique à ce domaine fait en sorte que certaines limitations pourraient apparaître. Dans la suite, les équipements, les types de drones et les réglementations sont exposés.

2.1.1. Équipements (capteurs)

Les drones sont dotés de divers outils et équipements qui permettent aux drones de naviguer et d'être maniés efficacement. Un schéma représentant les différentes composantes d'un drone est présenté à la Figure 1.

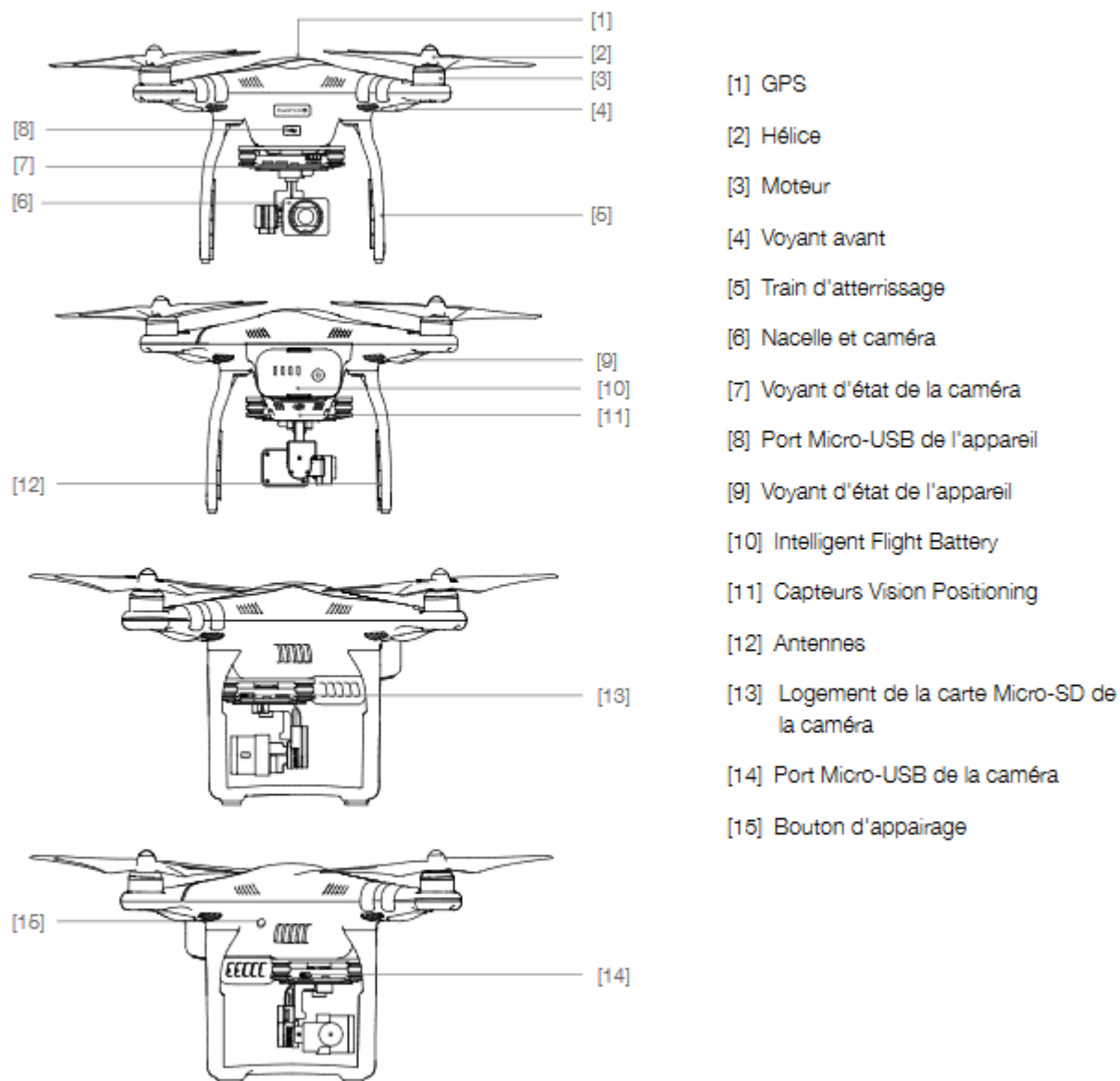


Figure 1- Schéma du drone DJI Phantom (source : DJI, 2016)

Le tableau 1 présente les principaux instruments et équipements que l'on peut retrouver sur des drones.

Tableau 1 – Instruments et équipements du drone

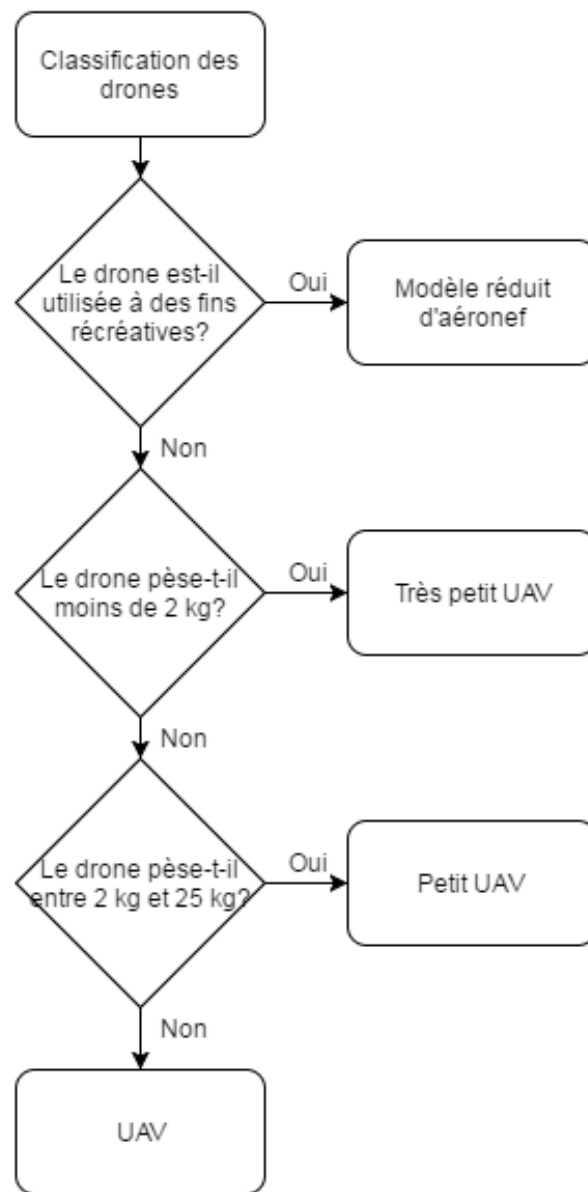
Instruments et équipement de bord	
Accéléromètre	<p>Mesure l'accélération linéaire sur les trois axes (X, Y, Z).</p> <p>Une caractéristique très importante des accéléromètres à trois axes est qu'ils détectent la gravité et, par conséquent, peuvent savoir dans quelle direction se trouve le « Nadir ». C'est ce qui permet à l'aéronef multi-rotors de rester stable.</p> <p>Les unités s'expriment généralement en « gravité » (G) qui représente 9,81 m/s², ou 32 pieds/s².</p>
Gyroscope	<p>Mesure le taux de variation angulaire sur jusqu'à trois axes angulaires.</p> <p>Les unités sont souvent en degrés par seconde.</p>
Centrale à inertie (IMU)	<p>Se compose pour l'essentiel d'une petite carte qui contient à la fois un accéléromètre et un gyroscope (habituellement ce sont des multi-axes).</p>
Boussole/Magnétomètre	<p>Une boussole magnétique électronique est capable de mesurer le champ magnétique de la terre et de l'utiliser pour déterminer la direction à la boussole d'un drone (par rapport au nord magnétique).</p>

Pression/Baro- mètre	<p>Apporte une lecture assez précise de l'altitude de l'UAV, en se basant sur le principe que la pression change en fonction de l'altitude.</p> <p>La plupart des contrôleurs de vol reçoivent à la fois des données d'altitude du capteur de pression et du GPS pour calculer de la façon la plus précise l'altitude par rapport au niveau de la mer.</p>
Module de positionnement	<p>Les systèmes de positionnement mondiaux GPS et GLONASS utilisent les signaux envoyés par des satellites en orbite autour de la Terre afin de déterminer leur emplacement géographique spécifique.</p> <p>Afin d'obtenir un verrouillage GPS précis, la puce GPS doit recevoir des données provenant de plusieurs satellites, donc plus ils sont nombreux, mieux c'est.</p>
Capteur de Distance	<p>Mesure la distance en se basant sur des technologies ultrasoniques, laser ou lidar.</p> <p>Le capteur de distance permet de connaître à quelle distance de la terre ou d'un obstacle se situe le drone. Ceci permet d'éviter collines, montagnes, bâtiments, etc. pendant le vol.</p>

OSD (On-Screen Display)	<p>Un OSD est un composant électronique que l'on connecte sur le drone (entre l'émetteur vidéo et la caméra). Ce composant permet d'afficher des données et des statistiques sur l'écran lors des vols en immersion FPV.</p> <p>Généralement, il indique des informations telles que le niveau de batterie, le temps de vol, le nombre de satellites, etc. Toutes ces informations permettent de réduire les risques de perte du drone.</p>
--------------------------------	---

2.1.2. Classification des drones

Transports Canada a défini plusieurs termes pour désigner les catégories de drones. Tout d'abord, on fait une distinction entre les drones qui sont destinés à un usage récréatif, et ceux qui ne le sont pas. Un drone destiné aux loisirs et à un usage récréatif est légalement désigné sous le nom de « image réduit d'aéronef » (voir la définition complète ci-dessous). Les drones destinés à un usage non récréatif (comme dans le cadre d'un travail ou d'une recherche) sont légalement appelés « UAV » (*Unmanned Aerial Vehicle* en anglais ou « Véhicule aérien non habité »). Les UAV sont ensuite triés par classe de poids : un « très petit UAV » fait moins de 2kg; un « petit UAV » pèse entre 2 et 25 kg; un « UAV » pèse au-delà de 25 kg (Transports Canada, 2017a). La Figure 2 illustre les règles amenant aux différentes nominations légales instaurées par Transports Canada.



par Georges Solocho
Source : Transports Canada

Figure 2 - Classification des UAV selon Transports Canada

À titre informatif, voici les définitions légales publiées par Transports Canada :

- Modèle réduit d'aéronef : Aéronef dont la masse totale est d'au plus 35 kg (77,2 livres), qui est entraîné par des moyens mécaniques ou projeté en vol à des fins de loisirs et qui n'est pas conçu pour transporter des êtres vivants.
- Véhicule aérien non habité (UAV) : Aéronef entraîné par moteur, autre qu'un modèle réduit d'aéronef, conçu pour effectuer des vols sans intervention humaine à bord.

2.1.3. Aspects réglementaires de l'utilisation des drones

L'utilisation de drones est soumise aux règles établies par Transports Canada. En fonction du drone utilisé, et de l'usage que l'on souhaite en faire, l'utilisateur est soumis à des contraintes différentes :

- Si le drone est utilisé à des fins récréatives ou de loisir, et qu'il pèse moins de 35 kg, alors il ne faut pas avoir de permission particulière de la part de Transports Canada. Il faut toutefois respecter certains règlements (annexe 2).
- Si le drone n'est pas utilisé à des fins récréatives, et qu'il pèse au-delà de 25 kg, alors il est obligatoire de demander à Transports Canada une permission spéciale, que l'on appelle un Certificat d'Opération Aéronautique Spécialisée (CAOS). La démarche à suivre est disponible sur (annexe 2).
- Si le drone n'est pas utilisé à des fins récréatives, et qu'il pèse moins de 25 kg – ce qui le cas dans le présent travail – alors la demande de CAOS n'est pas obligatoire. Toutefois, il est obligatoire de respecter les obligations suivantes :
 - Avoir une assurance responsabilité d'au moins 100 000\$;
 - Avoir suivi une formation sur le système d'UAV et en aéronautique ;
 - Préalablement au vol, faire une déclaration à Transports Canada afin de les informer de l'utilisation du drone (déclaration à remplir en ligne) ;

- Suivre les consignes de sécurité prescrites par Transports Canada (maintenir l'UAV dans son champ de vision lors du vol, ne pas dépasser 300' d'altitude, rester à 5 miles nautique [9 km] de tout aéroport, etc.)

La Figure 3 synthétise les différentes règles applicables en fonction de la situation dans laquelle on se trouve.

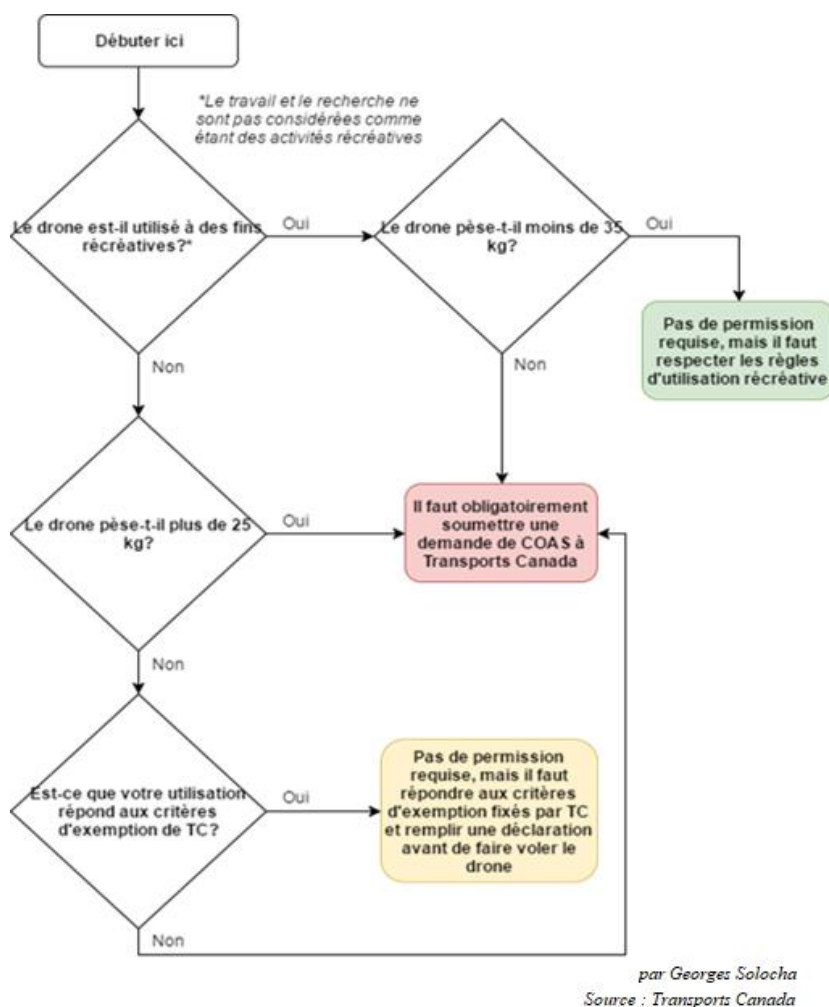


Figure 3 - Règlements TC applicables aux drones

2.2. Logiciels spécifiques aux drones

La cartographie à l'aide des drones fait appel d'une part à de l'équipement et d'autre part à des logiciels. On peut relever les catégories de logiciels suivantes : 1) les logiciels de navigation, 2) les logiciels d'acquisition et de traitement des données et 3) les logiciels de diffusion.

2.2.1. Les logiciels de navigation

Il existe actuellement plusieurs logiciels de navigation sur le marché. La plupart des drones sont fournis avec un logiciel natif, mais d'autres logiciels sont également disponibles. Les logiciels présentent bien évidemment des caractéristiques qui sont propres à chacun. Une comparaison sommaire entre le logiciel *DJI GO* (logiciel de navigation natif sur les drones de marque DJI) et le logiciel *Litchi* (logiciel indépendant, mais payant) est présenté dans le tableau 2. Ce sont les logiciels les plus utilisés dans le domaine (DJI Forum, 2018).

Tableau 2– Logiciels de navigation

DJI GO par Da Jiang Innovation (version 3.1.15)	Litchi par VC Technology Ltd (version 3.10.9)
<ul style="list-style-type: none"> • Gratuit • Programme de base fourni par le producteur • Modification de paramètres est limitée • Facile d'utilisation • Mises à jour régulières et support • Sécurité batterie et sécurité d'utilisation 	<ul style="list-style-type: none"> • Payant • Permet une plus grande personnalisation des paramètres • Il faut savoir ce que l'on fait, car possible perdre ou briser le drone (sécurité batterie, heurter immeubles en mettant une balise (<i>waypoint</i> en anglais)) • Système de balises (<i>waypoints</i>) que l'on peut programmer à l'avance (meilleure planification de mission) • Peut compléter la mission même si on perd le signal • Mode réalité virtuelle (visionner par un casque)
Recommandé aux débutants	Recommandé aux utilisateurs nécessitant fonctions avancées et qui ont déjà un minimum d'expérience.

Si l'utilisateur souhaite un meilleur contrôle de son plan de vol, il serait souhaitable d'utiliser le logiciel Litchi. Il est recommandé d'utiliser le logiciel Litchi plus que DJI GO, car Litchi permet de paramétrer le vol du drone de manière plus poussée et plus précise. Cette utilisation permet donc une meilleure planification de la mission du drone grâce à l'utilisation de *waypoints*, permettant une meilleure programmation de l'itinéraire du drone. Cette fonctionnalité permet par exemple, au drone de compléter son itinéraire, et ce même lorsque celui-ci perd le signal. Cela réduit donc de manière considérable les risques de perte ou de bris du drone. Il est cependant important de noter

que l'utilisation de Litchi nécessite des compétences avancées. Litchi est donc destiné aux utilisateurs ayant des connaissances avancées et une certaine expérience avec la navigation de drones. (Thomas, 2016).

2.2.2. Les logiciels d'acquisition et de traitement des données de drones

Étant donné que les logiciels de navigation se limitent uniquement à la gestion de la navigation du drone, il faut également choisir un logiciel d'acquisition de données un logiciel de traitement de données. Plusieurs entreprises se spécialisent dans ce type de logiciels. Il existe de nombreux logiciels de ce domaine, mais il faut noter que les plus répandus sont les trois logiciels suivants : Agisoft Photoscan (www.agisoft.com), DroneDeploy (www.dronedeploy.com) et Pix4D (www.pix4d.com). Une brève présentation des trois logiciels de modélisation est faite ci-dessous, et le tableau 3 résume les avantages et les inconvénients de chacun des logiciels.

Agisoft Photoscan

Le logiciel Agisoft Photoscan n'effectue que le traitement de données (pas l'acquisition). Il est donc nécessaire de l'utiliser conjointement à un logiciel qui se chargera de l'acquisition des données (Pix4D ou DroneDeploy, par exemple). Ce logiciel offre plus de fonctionnalités de traitement de données que DroneDeploy, et est moins coûteux que le logiciel Pix4D. Il possède également une fonctionnalité intéressante qui permet à plusieurs ordinateurs de traiter en même temps les images d'un projet, réduisant ainsi le temps de traitement nécessaire. Agisoft Photoscan est aussi compatible avec Linux.

DroneDeploy

Contrairement à Agisoft Photoscan, DroneDeploy est en mesure d'acquérir et de traiter les données. DroneDeploy ne propose pas de logiciel de bureau pour l'ordinateur : le traitement de données s'effectue intégralement sur l'infonuagique (DroneDeploy, 2018). Lors de nos essais, nous avons trouvé que DroneDeploy était très simple d'utilisation, mais qu'au niveau du traitement des données, le logiciel était trop limité. DroneDeploy compromet la qualité de l'image obtenu en restreignant le nombre d'images dont il tient compte lors de la conversion « Images vers Image ». Ce logiciel se limite également à un seul format d'exportation (format JPEG). Le logiciel répond bien au niveau des besoins pour l'acquisition des données.

Pix4D

Tout comme DroneDeploy, Pix4D comprend à la fois la fonction d'acquisition et la fonction de traitement des données. Pix4D est le logiciel le plus cher d'entre les trois, mais qui propose également le plus de fonctionnalités. Pix4D semble être assez intéressant au niveau de l'acquisition des données, car la qualité de l'acquisition des données était comparable à celle obtenue via DroneDeploy. Toutefois l'évaluation des traitements n'a pas été possible car il fallait une licence payante.

Tableau 3– Logiciels de modélisation 3D (source : Manjaro, 2017)

	Agisoft Photoscan	DroneDeploy	Pix4D
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Facile à utiliser • Support multi-ordinateurs / serveurs • 30 jours d'essai gratuit 	<ul style="list-style-type: none"> • Simple, facile à utiliser • Meilleures options de tarification • Pas besoin de télécharger et de traiter les images localement 	<ul style="list-style-type: none"> • Logiciel tout-en-un (capture et traitement) • Facile à utiliser • Profusion de fonctionnalités
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • Coûteux • Seulement le traitement. Aucun logiciel de capture inclus • Moins de fonctionnalités par rapport à Pix4D 	<ul style="list-style-type: none"> • Nécessite une bonne connexion Internet pour télécharger les images • Trop simple. Options minimales pour modifier les paramètres du traitement 	<ul style="list-style-type: none"> • Très coûteux • Seulement 15 jours d'essai

2.3. Technologies utilisées dans la cartographie sur Internet

2.3.1. Généralités

Depuis la révolution numérique, la cartographie a subi une évolution colossale. L'évolution des technologies liées à l'ordinateur et aux télécommunications a rendu possible le développement des SIG (*Systèmes d'Information Géographique*) sur internet. Les SIG permettent d'acquérir, stocker, vérifier, manipuler, analyser et visualiser des données spatiales (DoE, 1987). De plus, l'accès aux outils et technologies informatiques s'étant généralisé, les cartes dynamiques sont devenues acces-

The screenshot shows a web browser window displaying a map of the Montreal area. The map is overlaid with various colored regions representing different 'ecoterritoires'. A legend on the left side of the map lists these regions with corresponding colored dots:

- LA COULÉE VERTE DU RUISSEAU BERT...
- LA COULÉE VERTE DU RUISSEAU DE MO...
- LA FALAISE SAINT-JACQUES
- LA FORÊT DE SENNEVILLE
- LA TRAME VERTE DE L'EST
- LE CORRIDOR ÉCOFORESTIER DE L'ÎLE BIL...
- LE CORRIDOR ÉCOFORESTIER DE LA RIV...
- LES RAPIDES DE LACHINE
- LES RAPIDES DU CHEVAL BLANC
- LES SOMMETS ET LES FLANCS DU MON...

The map itself shows the city of Montreal, the St-Laurent River (Fleuve St-Laurent), and surrounding areas like Laval and St-Eustache. Major roads like the Autoroute Transcanadienne are visible. The browser's address bar shows a URL from airquebec.carto.com.

Les données acquises par les drones sont matricielles mais elles peuvent aussi être diffusées dans de tels outils. Il faut toutefois mettre en œuvre les technologies du SIG Web qui font plutôt appel

aux services Web. Toutefois, on peut souligner que d'autres solutions existent et qui permettent à l'utilisateur de diffuser ses données acquises par drones. Un exemple en lien avec les drones serait l'outil Web *Maps Made Easy* (Drone Made Easy, 2018) de la société Automotive Data Research.

Maps Made Easy est un outil Web spécialisé dans la création d'orthomosaïques et de images 3D à l'aide de drones. *Maps Made Easy* permet la création et la mise en ligne de tels projets. Aux figures Figure 5 et Figure 6, l'on peut voir un exemple de résultat obtenu via *Maps Made Easy*. À la Figure 5, on présente la carte satellite d'un site. À la Figure 6, on montre la même carte, mais réalisée par la technologie des drones.



Figure 5- Carte réalisée par satellite (source : Drone Made Easy, 2018)



Figure 6 - Carte produite par un drone (avec zoom) (source : Drone Made Easy, 2018)

La Figure 6 montre bien la différence entre la résolution d'une image satellitaire et d'une image issue d'un drone.

2.3.2. Composition d'un SIG Web

Un SIG est composés de 3 parties : le client, le serveur ainsi que les bases de données. Nous verrons dans les paragraphes suivants en quoi consistent chacune des composantes d'un SIG Web. (Trevey, 2016).

2.3.2.1. Les clients

Pour les clients, un SIG est là : « composante représentée par un certain nombre d'outils servant à interroger les serveurs cartographiques. Il existe différents clients qui conduisent un ou des utilisateurs à visualiser les cartes en ligne via les navigateurs. » (Laury et Saysanasy, 2012; Trevey, 2016).

En plus des exemples déjà mentionnés, nous pouvons citer de nombreux outils traditionnels utilisés en SIG Web qui peuvent intégrer les données des drones.

Deux SIG classiques sont présentés ci-dessous : QGIS et ArcGIS. Les données acquises par drones peuvent y être intégrées sous la forme de couche matricielle.

QGIS

QGIS est un SIG qui permet le traitement de données géospatiales. Bien que QGIS soit un logiciel de bureau, il intervient dans le Web GIS à travers plusieurs aspects : 1) pour la préparation des données qui vont sur les outils de cartographie sur internet et 2) pour la consultation des données des outils de cartographie sur internet. QGIS se veut convivial et facile d'usage pour ses utilisateurs. Il supporte de nombreux formats de vecteurs, de raster et de bases de données. Si nécessaire, il est également possible d'étendre les fonctionnalités de QGIS en utilisant le gestionnaire d'extensions fourni. Il est même possible de coder des extensions par soi-même, soit en Python, soit en C++. Le logiciel est compatible avec Unix, Linux, Mac OSX, Windows et Android et il est libre.

ArcGIS

Tout comme QGIS, ArcGIS est également un SIG de bureau. ArcGIS est donc un outil qui permet également de : 1) préparer les données pour des outils cartographiques sur internet et de 2) consulter

des données des outils cartographiques sur internet. Une différence majeure entre QGIS et ArcGIS est qu'ArcGIS est un logiciel propriétaire payant. À plusieurs égards, ArcGIS dispose d'outils un petit plus développés ou « poussés » que QGIS. ArcGIS offre également un soutien technique à ses utilisateurs. Le logiciel est compatible uniquement avec Windows.

Les API (de l'anglais Application Programming Interface) sont également des outils utiles. Une API est une structure logicielle (*framework*) dont on peut se servir pour écrire des programmes informatiques. Les API contiennent un ensemble de classes, de méthodes et de fonctions informatiques qui permettent à l'utilisateur d'accélérer le développement d'une application. Il existe toutes sortes d'APIs (API Youtube, diverses APIs Java, etc.), et certaines ont été spécifiquement développées à des fins cartographiques. Parmi les APIs classiques du SIG Web, on peut citer les suivantes :

GoogleMaps API

Google Maps API est une API propriétaire. Pour l'utiliser gratuitement, la carte doit être publique, le nombre de visiteurs ne doit pas dépasser 25 000 par jour, et la carte doit être exempte de publicités. Google Maps présente toutefois des avantages intéressants : les fonctionnalités sont diversifiées, les utilisateurs ont généralement l'habitude d'utiliser Google Maps, et il y a de nombreuses ressources de documentation et de support.

Un exemple d'utilisation de l'API Google Maps en combinaison avec des drones est la plateforme Litchi Mission Hub. Litchi Mission Hub est un outil proposé par la société VC Technology (VC Technology Ltd., 2018). Cet outil permet à ses utilisateurs de partager, sur l'interface Google Maps,

les vols de drones effectués. Les autres utilisateurs peuvent ainsi consulter les informations relatives à ces vols, et même les répliquer. Tel qu'on peut le constater sur la Figure 7, Litchi Mission Hub fait appel à l'API Google Maps.



Figure 7- API Google Maps utilisée par Litchi Mission Hub

Leaflet

Leaflet est une API JavaScript qui a été conçue en vue de réaliser des cartes pour utilisateurs mobiles. Par conséquent, elle a été créée de manière à être très légère et facile d'utilisation. Elle est également libre et ouverte et peut être adaptée aux besoins des développeurs via l'ajout d'extensions (plugins).

OpenLayers

OpenLayers est une API JavaScript qui, tout comme Leaflet, est libre et ouvert. OpenLayers présente l'avantage d'être très complète et polyvalente, et de disposer d'une communauté relativement large, ce qui facilite l'accès à du soutien en cas de besoin (Agafonkin V., 2017). Le seul inconvénient d'OpenLayers est qu'il nécessite un peu d'expérience pour être utilisé, et qu'il est donc plus difficile à manipuler pour les débutants.

PolyMaps

Polymaps est une autre API Javascript. Sa singularité réside dans le fait qu'elle soit basée sur le format SVG (*Scalable Vector Graphics/ Graphiques Vectoriels Adaptables*). Ceci confère à PolyMaps une grande rapidité dans le traitement des données ainsi que des propriétés de dynamisme particulièrement intéressantes. De plus, PolyMaps est une API Open Source (Polymaps, 2017).

Google Earth (Google Inc.): Google Earth est une plateforme gratuite qui offre tout un ensemble d'outils géographiques. Fondamentalement parlant, Google Earth est un globe terrestre virtuel qui permet à ses utilisateurs d'explorer un image 3D de la Terre. Toutefois, le programme dispose également de fonctionnalités géographiques intéressantes : géonavigateur tridimensionnel, outils de visualisation 3D, outils de mesure de distances ou de surfaces, etc. Le format KML utilisé par Google Earth permet de diffuser facilement les données acquises par des drones. Google Earth est présenté à la Figure 8.

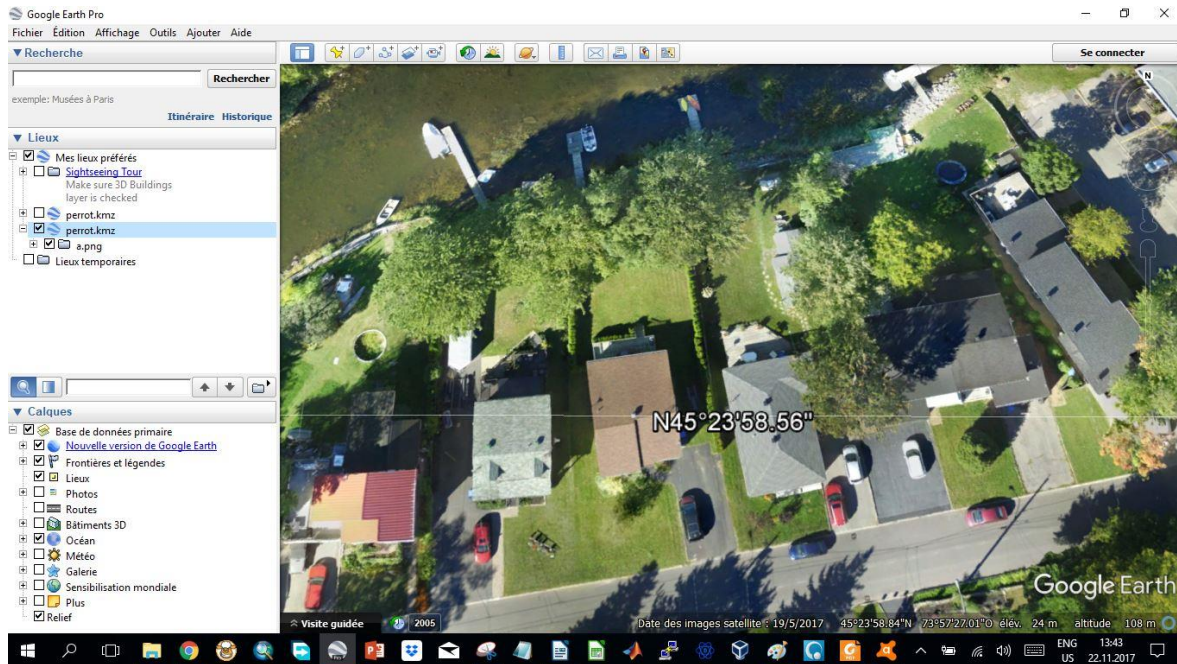


Figure 8 - Google Earth

VTs 3D Geospatial Software Stack (Melown Technologies) : VTs 3D Geospatial est une pile logicielle OpenSource prévue pour le développement d'applications géospatiales 3D. VTs 3D Geospatial comprend des bibliothèques JavaScript et C++, et possède notamment des fonctions d'intégration de données de serveur. VTs possède des fonctionnalités très poussées, et est donc très adaptable aux besoins de l'utilisateur. Toutefois, il faut avoir une base de connaissances en programmation pour pouvoir exploiter cet outil de manière optimale. VTs 3D est présenté à la Figure 9.

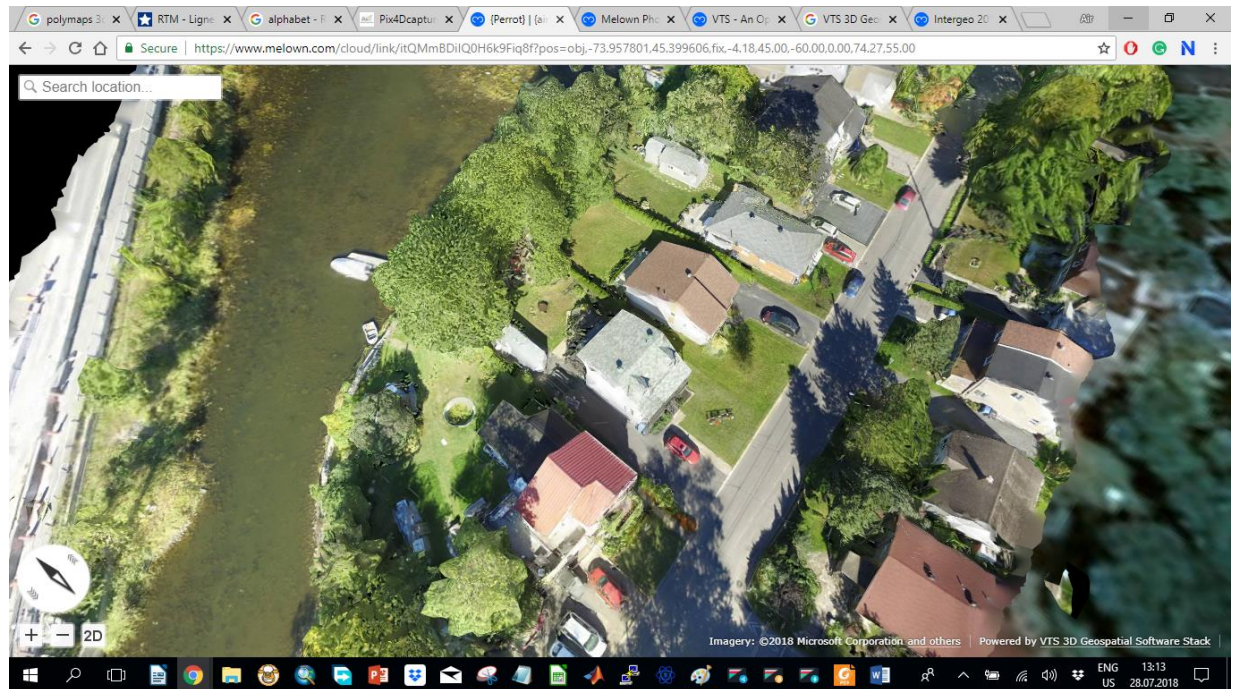


Figure 9 - VTS 3D Geospatial Software Stack (Extrait de Melown)

Melown Cloud (Melown Technologies) : Melown Cloud est une plateforme de développement de cartes 3D sur cloud. Cette plateforme est basée sur la pile logicielle VTS 3D Geospatial décrite précédemment. Melown Cloud dispose d'une interface utilisateur qui permet d'utiliser les fonctionnalités de VTS 3D en effectuant de simples clics. Melown Cloud se prête donc bien à de petits projets qui ne nécessitent pas des connaissances de programmation poussés. Melown Cloud est présenté à la Figure 10.

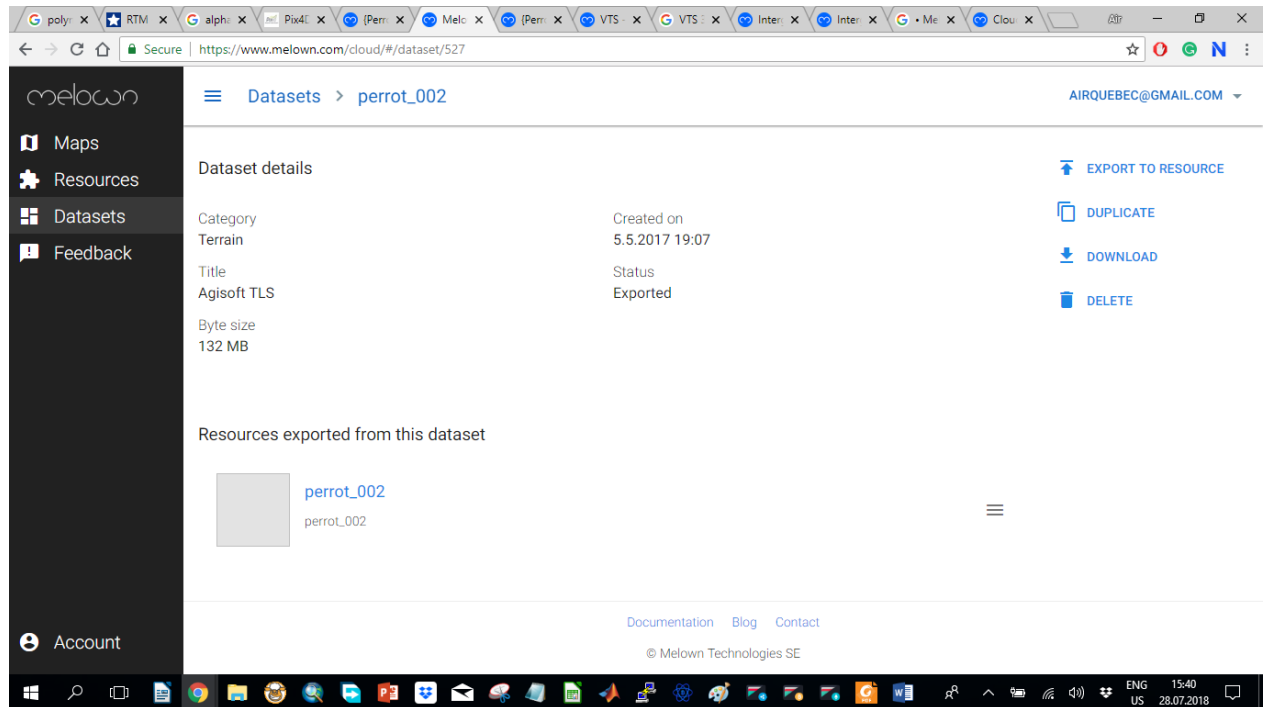


Figure 10 - Melown Cloud

Sketchfab : Sketchfab est une plateforme d’hébergement de fichiers 3D, fichiers de réalité virtuelle et fichiers de réalité augmentée. Sketchfab permet l’échange, la consultation, l’achat et la vente de ce type de contenu (Sketchfab, 2018a). L’intérêt de Sketchfab – dans le cadre de ce projet – est qu’il apporte un moyen de diffusion et de visualisation très simple et très accessible. Sketchfab présente toutefois quelques contraintes : dans le cadre d’une utilisation gratuite, il a une limite au volume du fichier que l’on souhaite y publier. Un autre inconvénient est que Sketchfab ne supporte par l’application de couches sur les cartes. Sketchfab est présenté à la Figure 11.

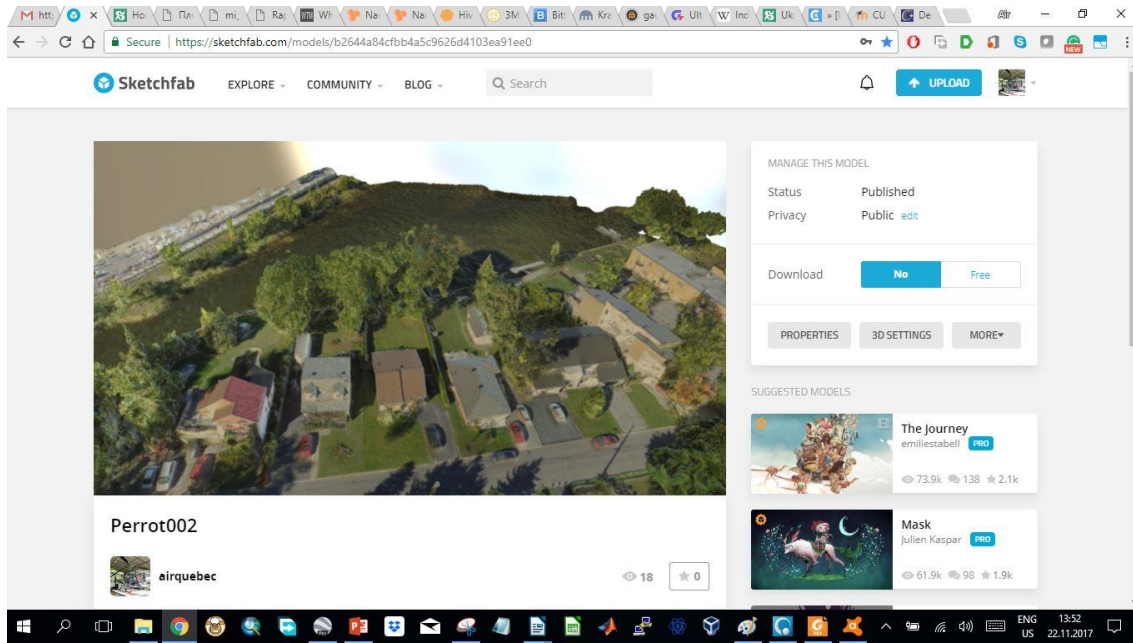


Figure 11- Sketchfab (source: Sketchfab, 2018b)

2.3.2.2. Les serveurs

Le serveur cartographique est une : « composante qui permet de créer des cartes grâce aux données géographiques stockées sur un serveur. » (Trevey, 2016).

Si l'utilisateur souhaite diffuser les données via internet, il devra mettre en œuvre un serveur cartographique. Actuellement ils sont utilisés pour diffuser les données 2D acquises par drone. Il n'y a pas encore de norme pour diffuser les données 3D. Le rôle des serveurs cartographiques est d'assurer la gestion ainsi que la diffusion Web de données géographiques. Le serveur permet de stocker l'information qui sera par la suite utilisée par son client. Généralement, les serveurs cartographiques sont configurables à partir de langages de programmation tels que Javascript, Python, C++,

etc. Un serveur cartographique permet de réaliser des cartes dynamiques. Chaque modification effectuée sur le serveur permet automatiquement de mettre à jour une carte. Nous présentons ici deux exemples de serveurs qui sont très couramment utilisés : GeoServer et MapServer. À l'exception de quelques petites nuances, ces deux serveurs restent très similaires en termes de performance, et se valent largement.

GeoServer

GeoServer est un serveur cartographique libre et ouvert créé en 2001 (GeoServer, 2018). GeoServer permet de travailler avec de nombreux standards et formats. Il est écrit en Java et présente de meilleures performances que MapServer pour les protocoles WFS (Bauer J., 2012). Il supporte d'ailleurs le WFS-T.

MapServer

MapServer est lui aussi un serveur cartographique libre et ouvert, mais existe depuis plus longtemps que GeoServer (première version grand public diffusée en 1996). Contrairement à GeoServer, MapServer est écrit en C/C++. MapServer présente de meilleures performances pour les protocoles WMS que son concurrent GeoServer (Geomappando, 2015).

Si l'utilisateur souhaite conserver les données dans le temps et réaliser des analyses spatiales, il est alors judicieux de mettre en œuvre une base de données spatiales. La conservation des données matricielles est possible dans les dernières versions de PostGIS (PostGIS, 2018).

2.3.2.3. Les bases de données

Concernant le serveur de données, celui-ci est une : « composante de gestion de Base de données à référence spatiale. » (Laury et Saysanasy, 2012 ; Trevey, 2016). Un exemple serait l'extension PostGIS, décrite ci-dessous.

PostGIS

PostGIS est une extension à la base de données Open Source PostgreSQL. PostgreSQL est une base données relation-objet. L'ajout de l'extension PostGIS rend PostgreSQL capable de traiter des données de type géographique. PostGIS est compatible avec une très grande variété d'outils géographiques (QGIS, GeoServer, QGIS Server, etc.).

3. Site d'étude et acquisition de données

3.1. Présentation et géographie du site

La municipalité de la ville L'Île-Perrot a été choisie pour l'étude. Sa situation géographique est illustrée à la Figure 12.

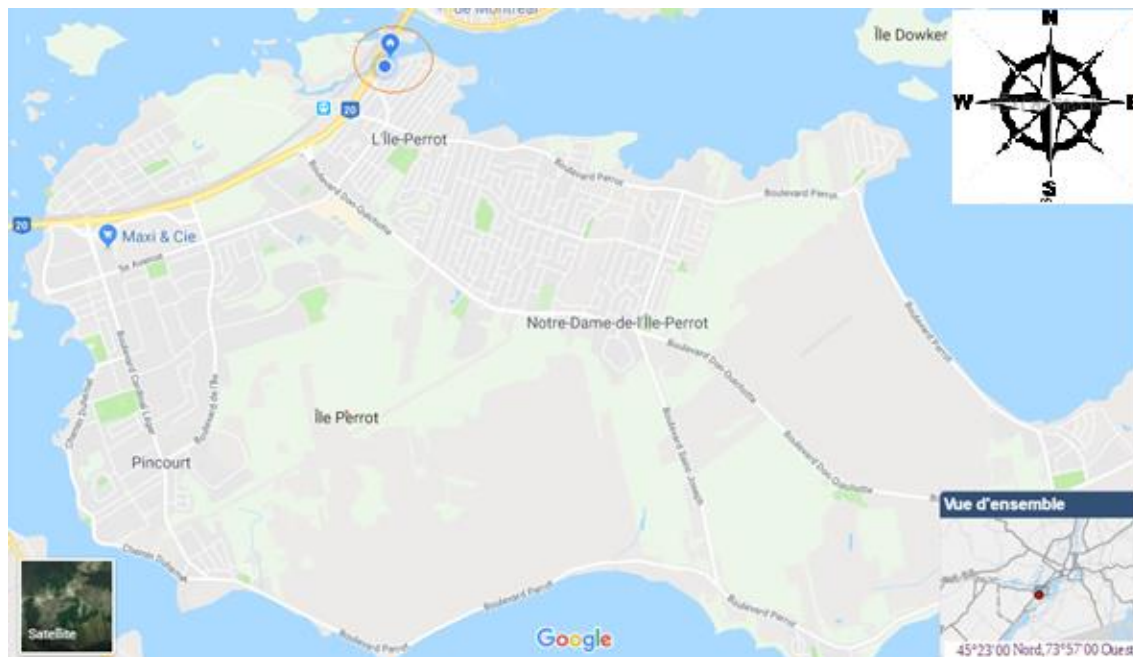


Figure 12 - Carte de l'Île-Perrot (Extrait de Google Maps)

L'Île-Perrot est une ville qui fait partie de la MRC (municipalité régionale de comté) de Vaudreuil-Soulangue, située en Montérégie. La ville se trouve sur une île portant le même nom. Pour éviter toute confusion entre l'île, la ville, et la municipalité voisine (Notre-Dame-de-l'Île-Perrot), l'appellation « Ville de l'Île-Perrot » est à privilégier. La Figure 13 montre l'endroit exact que nous avons prévu de survoler avec notre drone.

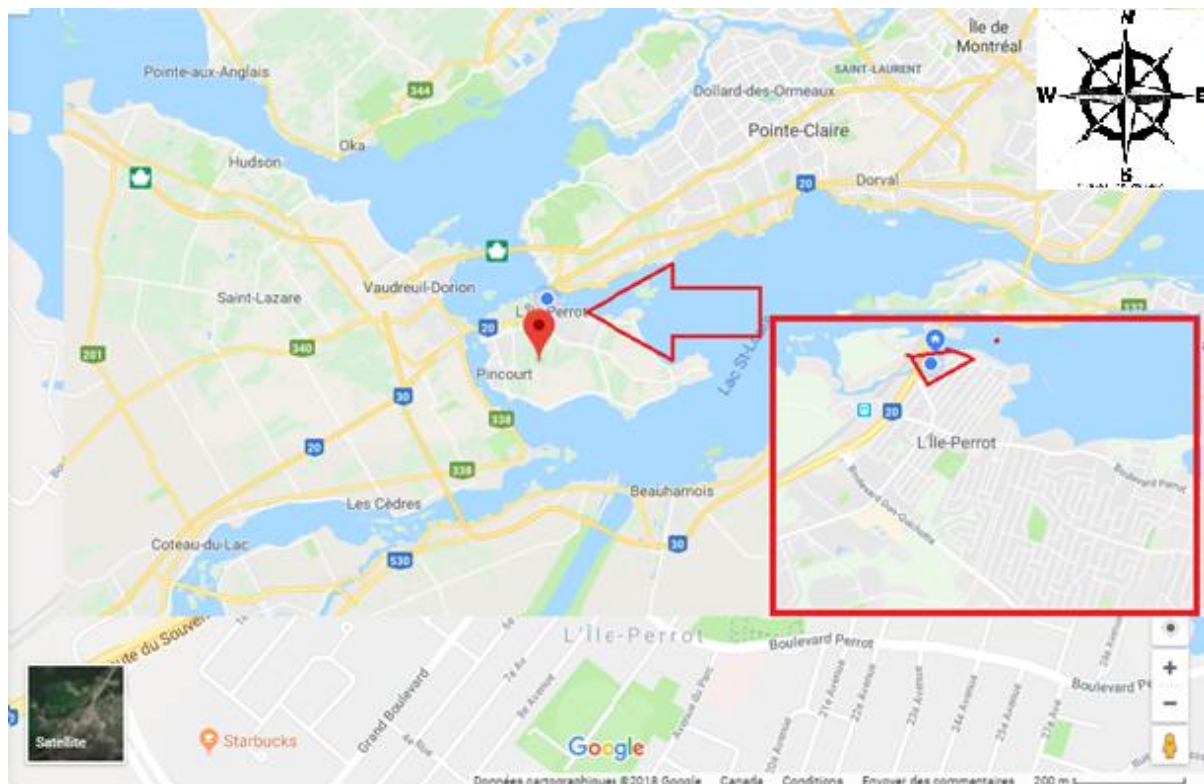


Figure 13 - Situation de la zone de vol (Extrait de Google Maps)

3.2. Présentation du drone

Pour réaliser ce projet, le choix du drone s'est porté sur l'image *Phantom 3 Professional* produit par l'entreprise DJI. Nous avons sélectionné cette image car, au moment de ce projet, le DJI Phantom 3 Pro était un image « prêt-à-voler » (pas d'assemblage ni de programmation nécessaires) qui était équipé d'une caméra de qualité. Le rapport qualité/prix de cette image était également intéressant. La Figure 14 nous montre une image du drone.



Figure 14 - Drone DJI Phantom 3 Pro (source: Expert Reviews, 2015)

Le DJI Phantom 3 Pro est un petit drone pesant 1.28 kg et possédant une vitesse maximale de vol de 16 m/s. Sa limite de temps de vol est d'approximativement 23 minutes, et il peut être manœuvré dans un rayon de 5 km de l'utilisateur. Il est fourni avec une caméra HD à 60 Mbps. Les caractéristiques techniques détaillées de l'image sont listées dans l'annexe 1.

Pour ce projet, le travail de collecte de données s'effectue strictement au sein du spectre visible de la lumière. Les longueurs d'onde sont donc comprises entre 380 nm et 780 nm. Il serait possible de réaliser certains projets dans le spectre non-visible comme les ondes infrarouges. En revanche, les applications et les objectifs du projet seraient alors différents (détecter des objets cachés dans

un terrain, évaluer la composition minière d'un terrain, etc.). Ici, le but est de pouvoir obtenir une localisation et les dimensions précises d'un objet sur la scène. Le visible répond parfaitement à cet objectif.

3.3. Collecte de données

Lorsqu'on envoie un drone en mission, les données brutes que l'on souhaite récolter doivent être produites sous forme de photos au format .JPEG, et avoir une résolution de 5 MP minimum (mais il est recommandé de sélectionner la résolution la plus élevée possible). Ces conditions sont nécessaires pour pouvoir ensuite traiter les données dans notre logiciel de photogrammétrie, Agisoft Photoscan (voir section 2.2.2). Les instruments d'acquisition de données doivent être installés sur une plateforme volante équipée d'au minimum de contrôleurs de vol et d'un OSD (on-screen display ; interface d'affichage sur smartphone ou tablette).

Le contrôleur de vol est équipé d'un gyroscope, d'un accéléromètre 3 axes, d'un baromètre, d'un système de positionnement par satellite.

Préalablement au vol, il faut sélectionner : la route à suivre par l'aéronef, la quantité d'images que l'on souhaite prendre ainsi que l'altitude. Avant d'effectuer le vol, il faut s'assurer de respecter les règles établies par Transports Canada (voir sections 2.1.2 et 2.1.3).

Dans le cadre de ce projet, le drone a pris 390 photos au total, à une altitude de 25 m. Les figures Figure 15 et Figure 16 illustrent quelques exemples d'images collectées par le drone.



Figure 15 - Exemple d'image prise par le drone (exemple 1)



Figure 16 - Exemple d'image prise par le drone (exemple 2)

3.4. Les normes utilisées par les drones

Lorsque l'on envoie le drone en mission, celui-ci prend une série de clichés photographiques. Parfois, plusieurs choix de formats photographiques sont proposés par le logiciel de navigation. Dans le cas du logiciel *DJI GO* par exemple, on a le choix entre prendre des photos sous le format JPEG ou prendre des photos sous le format RAW (cette option est illustrée à la Figure 17).

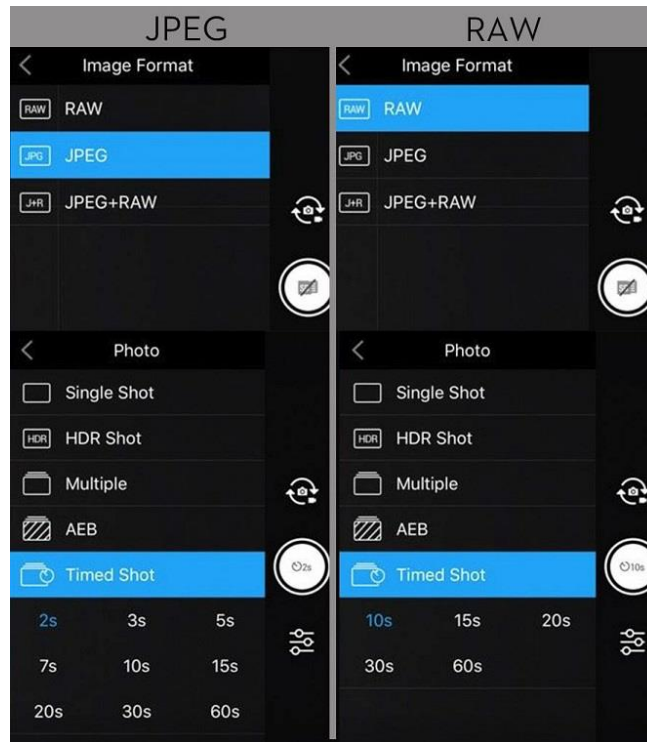


Figure 17 - Choix du format photographique sur DJI GO (source : DJI Forum, 2017)

Lorsque l'on sélectionne l'option JPEG, le microprocesseur de la caméra effectue automatiquement une série de réglages automatiques et convertit directement la photo en fichier JPEG. Les images JPEG sont des images qui peuvent ensuite être traitées directement par la majorité des logiciels de photogrammétrie. C'est l'option qui a été choisie dans le cadre de notre projet.

Lorsque l'on sélectionne l'option RAW, les images restent inaltérées, et ne sont pas sujettes à des ajustements photographiques ou à des réglages prédéfinis. On parle d'une image « brute », qui correspond à l'image telle qu'elle a été enregistrée par le capteur de la caméra. Les paramètres de

ce type d'image peuvent ensuite être ajustés selon les désirs de l'utilisateur (ajustements de couleurs, de saturation, de compression, etc.). Les images RAW ne sont toutefois pas compatibles avec les logiciels de photogrammétrie et devront être converties dans un autre format afin d'être acceptées par le logiciel (généralement il s'agit du format JPEG ou du format TIFF). De plus, il faut disposer de logiciels spéciaux pour pouvoir travailler ce type d'image. Il pourrait être intéressant de vérifier si certains réglages ou traitements d'images RAW peuvent améliorer le résultat photogrammétrique. Ceci dépasse toutefois la cadre du présent travail, et nous ne nous y sommes pas attardés. Il faut également noter que tous les logiciels de navigation ne proposent pas cette option, cela dépend du logiciel choisi.

Il faut aussi noter que chaque cliché pris par la caméra du drone est également accompagné de métadonnées. Dans ces métadonnées figurent des informations cruciales telles que l'altitude, la position géographique, la date et l'heure de la photo, etc. La Figure 18 montre un exemple de métadonnées GPS qui sont rattachées à une image prise par un drone. Ces métadonnées sont extrêmement importantes car c'est avec elles que le logiciel photogrammétrique pourra convertir les photos en images 2D ou 3D.

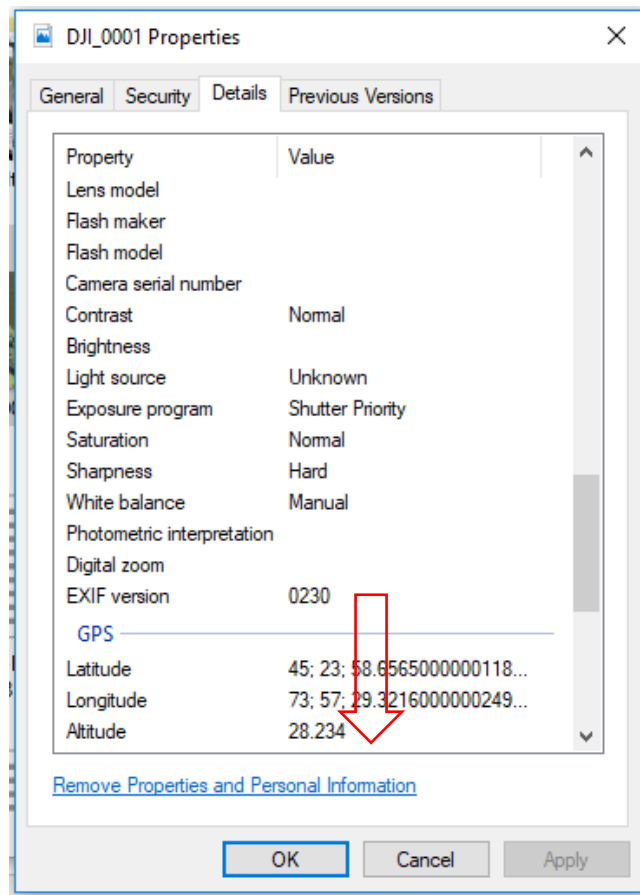


Figure 18 - Métadonnées d'une image de vol

4. Méthodologie

4.1. Conception et développement du projet

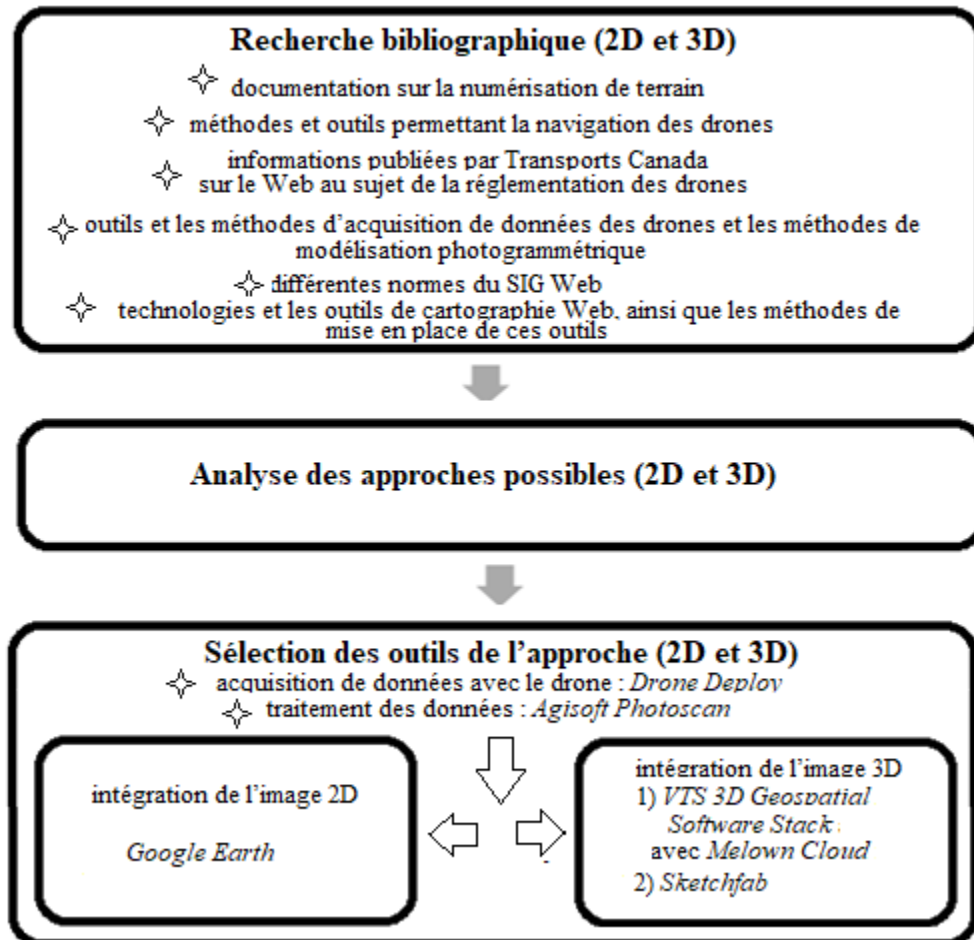


Figure 19 - Organigramme méthodologique

4.1.1. Recherche bibliographique (2D et 3D)

Une étape de recherche bibliographique a permis d'assembler de l'information pour mieux cerner la problématique du projet et pour trouver des approches possibles. Lors de cette étape, nous avons passé en revue, entre autres :

- de la documentation sur la numérisation de terrain ;
- les méthodes et outils permettant la navigation des drones ;
- les informations publiées par Transports Canada sur le Web au sujet de la réglementation des drones ;
- les outils et les méthodes d'acquisition de données des drones et les méthodes de modélisation photogrammétrique ;
- les différentes normes du SIG Web ;
- les technologies et les outils de cartographie Web, ainsi que les méthodes de mise en place de ces outils.

Cette étape de revue bibliographique nous a permis d'avoir une meilleure compréhension de la problématique et des éventuelles solutions pouvant y répondre.

4.1.2. Analyse des approches possibles (2D et 3D)

Plusieurs solutions permettent de réaliser des numérisations de terrain. En effet, il existe une multitude d'outils pouvant servir à l'élaboration d'une approche (voir sections 2.2 et 2.3). Par conséquent, plusieurs options étaient envisageables. Toutefois, dans le cadre de notre projet, l'approche choisie s'est faite dans un souci d'optimisation des coûts.

4.1.3. Sélection des outils de l'approche (2D et 3D)

Ceci nous amène aux outils que nous avons sélectionnés dans notre approche. Comme nous l'avons expliqué précédemment, le choix des outils s'est fait de manière à optimiser les coûts lors du projet. Nous avons donc fait appel à des outils qui étaient gratuits ou bien qui offraient des versions d'essai. La liste d'outils est la suivante :

- Pour l'acquisition de données avec le drone : *Drone Deploy*
- Pour le traitement des données : *Agisoft Photoscan*
- Pour l'intégration de l'image 2D dans un outil Web : *Google Earth*
- Pour l'intégration de l'image 3D dans un outil Web : 1) *VTS 3D Geospatial Software Stack* avec *Melown Cloud* ; 2) *Sketchfab*

4.2. Approche proposée

Pour obtenir l'image cartographique, il faut passer par différentes étapes d'acquisition et de traitement de données. Le schéma représenté à la Figure 20 montre les étapes importantes pour produire une carte à partir de données de drones.

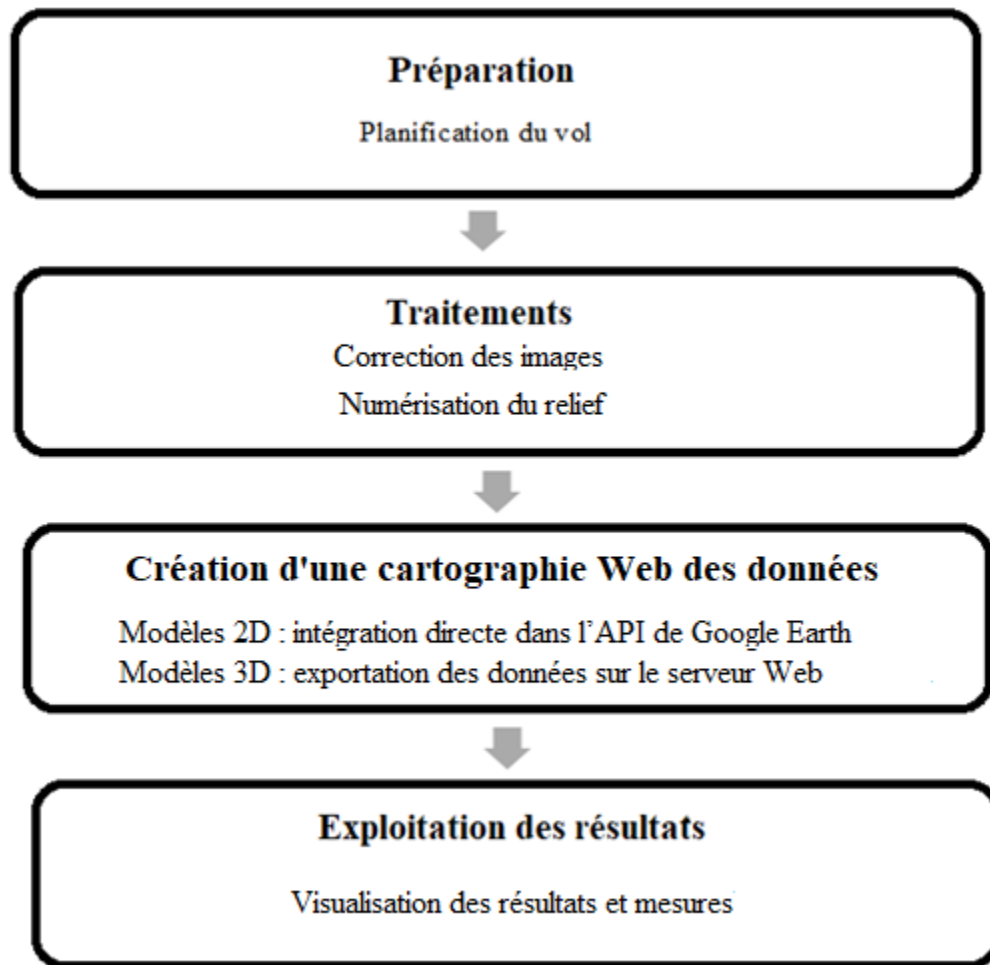


Figure 20 - Schéma des opérations de traitement

Les opérations de traitement sont détaillées dans les sections qui suivent.

4.3. Préparation ou planification de l'acquisition

La préparation de mission dépend, bien évidemment, du logiciel qui sera utilisé, et de l'usage que l'on souhaite faire du drone. Le logiciel de navigation utilisé dans ce travail est le logiciel Drone Deploy.

Le logiciel Drone Deploy permet de planifier le parcours, l'altitude de vol et divers réglages directement sur l'application. Il faut s'assurer que la mission planifiée pour le drone soit légale (éviter les zones interdites, demander les permissions nécessaires, etc.).

Finalement, il suffit de laisser le drone effectuer sa mission. La plupart des logiciels ont une fonction de décollage automatique. Il suffit alors de surveiller le drone pendant sa mission. Au moindre problème, il est possible de passer en navigation manuelle et de manœuvrer le drone soi-même.

Avant d'effectuer le vol, il est important de s'assurer que le vol sera conforme à la réglementation (voir sections 2.1 et 2.2). Le cas échéant, il faut demander les permissions (locales, nationales) nécessaires.

La Figure 21 présente un exemple de planification de mission réalisé via l'application DroneDeploy :

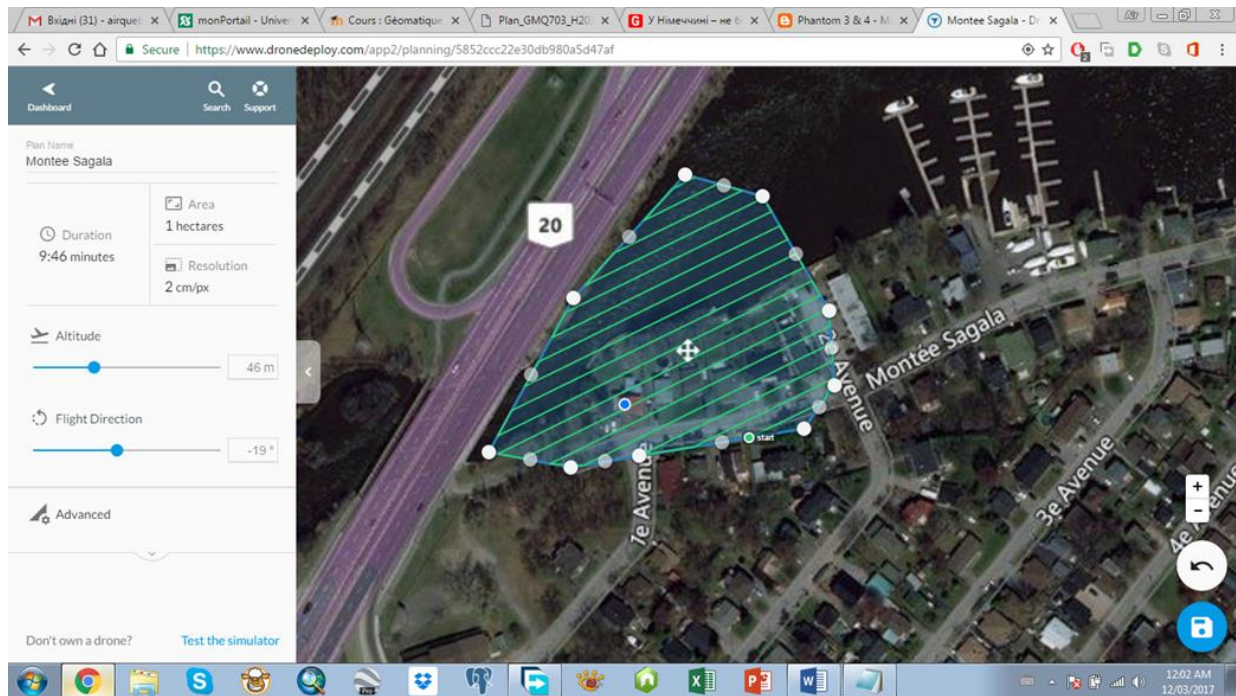


Figure 21 - Interface de planification de mission sur DroneDeploy

Une fois la mission programmée et planifiée, nous procéderons à l'acquisition de données. Le drone décolle et suit son parcours en prenant des photos, en fonction de ce qui a été programmé dans sa

mission. Une fois la mission complétée, on peut transférer les données vers l'ordinateur. Dans le cadre de cette mission, le drone utilisé est le suivant : Drone DJI Phantom 3 Professional.

4.4. Traitement de données

Cette étape peut s'effectuer à l'aide de divers logiciels de traitement de données. DroneDeploy ou Pix4D en sont des exemples (voir section logiciels). Dans le cadre de ce travail, notre choix s'est porté sur Photoscan, un logiciel édité par la société russe Agisoft.

Voici les étapes de modélisation détaillées ci-dessous :

- Ajouter les photos : l'utilisateur transfère ses photos au logiciel Agisoft.
- Aligner les photos : le logiciel repère la position exacte de la caméra au moment de la prise de chacun des clichés. Il détecte ensuite les points communs entre les photos et effectue leur alignement. Cet alignement de photos aboutit à un nuage de points calculé par Agisoft et qui prend la forme de l'image souhaitée (tel que montré à la Figure 22).
- Construire le nuage dense : une fois l'alignement réalisé, il faut créer un nuage dense en utilisant la fonction « Nuage Dense ». Il est possible de sélectionner une qualité plus ou moins élevée pour réaliser cette étape, et le choix affecte la durée de calcul par le logiciel ainsi que la qualité du résultat final.

La phase de pré-traitement est suivie d'une phase de traitement de données dont les étapes sont détaillées ci-dessous.

- Construire le maillage : cette étape permet de convertir le nuage de points de l'image en surface. Pour réaliser ce maillage, il suffit de cliquer sur la fonction « Construire le maillage » et de choisir les paramètres de résolution (type de surface, nombre de polygones, etc.)
- Construire la texture : Agisoft construit la texture de l'image en se basant sur les détails qui lui sont fournis via les photographies.

- Mise à l'échelle : l'étape suivante est la mise à l'échelle, ou étalonnage, de l'image. Plusieurs méthodes sont possibles. En utilisant les métadonnées géographiques enregistrées dans les photos, l'on peut situer précisément plusieurs points et calculer la distance entre eux. À l'aide de cette distance (calculée par le logiciel), Agisoft met l'image à l'échelle.
- Assemblage des morceaux : une fois la mise à l'échelle réalisée, il faudra aligner et faire fusionner les morceaux ensemble. Pour ce faire, l'on place des repères géographiques précis sur un morceau, et l'on indique au logiciel à quels endroits ces repères correspondent sur les autres morceaux. On demande ensuite à Agisoft d'aligner les morceaux ensemble et de les fusionner pour ne former qu'un seul bloc final.
- Simplifier le maillage : la simplification de maillage est effectuée par souci d'efficacité. Il permet de réduire le nombre de polygones de l'image, le rendant ainsi plus « léger » en termes de volume de fichier. Ceci permet l'accélération des tâches qui nécessitent ledit fichier. L'opération est très simple à réaliser sur Agisoft : il suffit d'utiliser la fonction « décimer le maillage » et de sélectionner les paramètres voulus.

Le résultat final est visible à la Figure 23. Il suffit ensuite d'exporter son travail dans le format 2D ou 3D, selon les besoins. Il reste également à déployer l'image dans un outil Web. La section 4.5 explique plus en détail comment procéder.

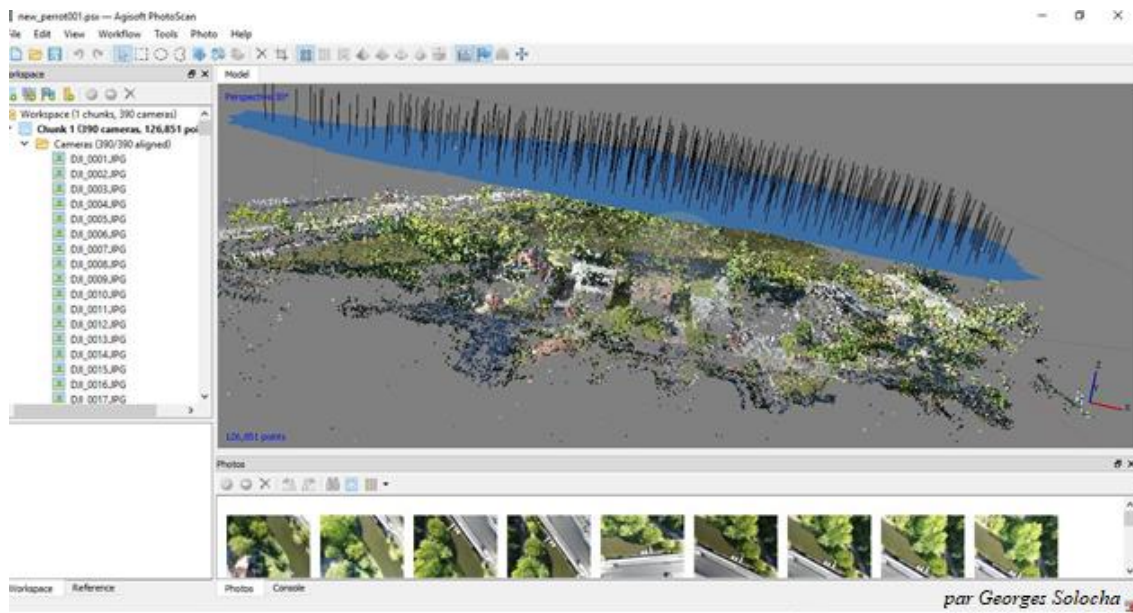


Figure 22 - Alignement des photographies (source : Agisoft Photoscan, 2018)

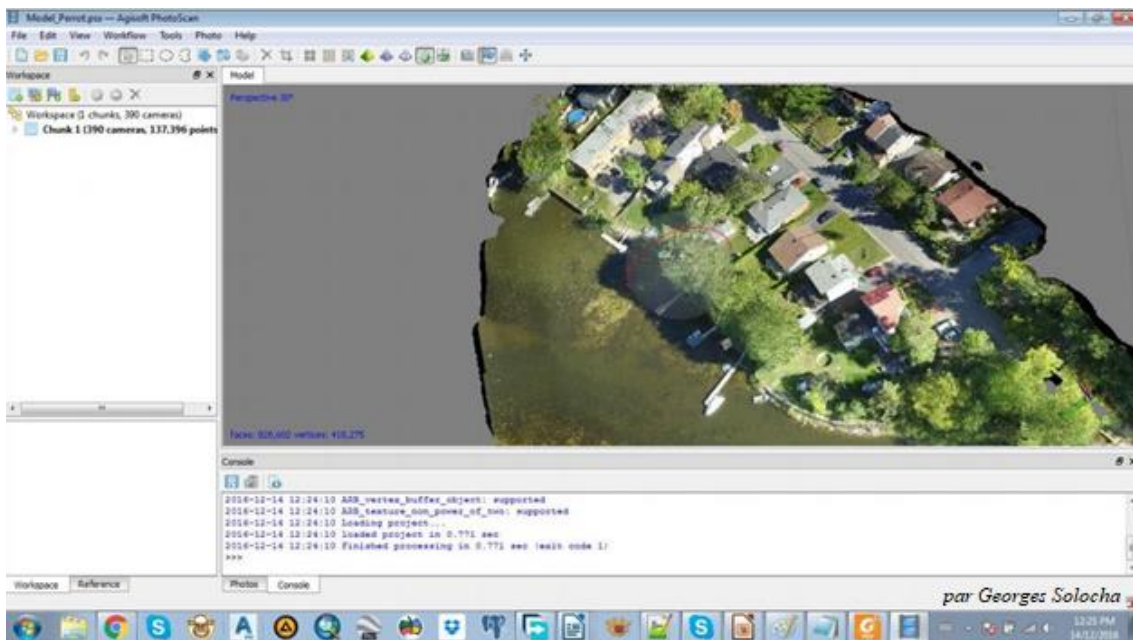


Figure 23 - Résultat Agisoft Photoscan (source : Agisoft Photoscan, 2018)

C'est de cette manière que les logiciels de photogrammétrie parviennent à convertir des photographies en images tridimensionnelles.

4.5. La création d'une cartographie Web des données

4.5.1. Obtention des images 2D et 3D pour le SIG Web

Pour obtenir une image en 2D, la procédure à suivre est très simple : il suffit d'exporter le fichier au format KML dans Agisoft. Il faut par la suite ouvrir le fichier KML en l'important dans Google Earth.

Pour les images 3D, deux services de déploiement sur le Web sont utilisés ici : Sketchfab et Melown. L'avantage de Sketchfab réside dans le fait qu'il soit simple et facile à utiliser. En revanche, la qualité du résultat est inférieure à celle que l'on pourrait obtenir dans Melown. Melown, quant à lui, est un peu plus complexe d'usage, mais offre un résultat de qualité bien supérieure à celui obtenu via Sketchfab.

Le déploiement de l'image dans Sketchfab se réalise en quelques clics. Comme montré à la Figure 24 et à la Figure 25, nous avons directement importé le fichier via l'interface Web de Sketchfab.

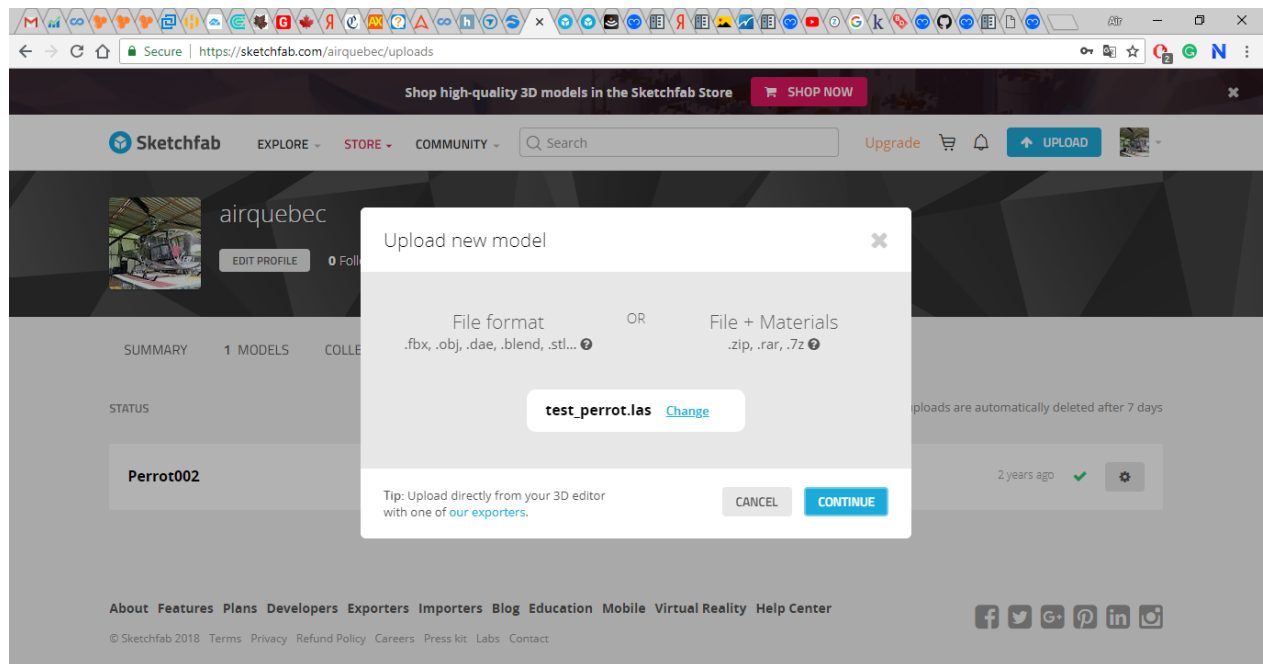


Figure 24 - Importation du fichier dans Sketchfab

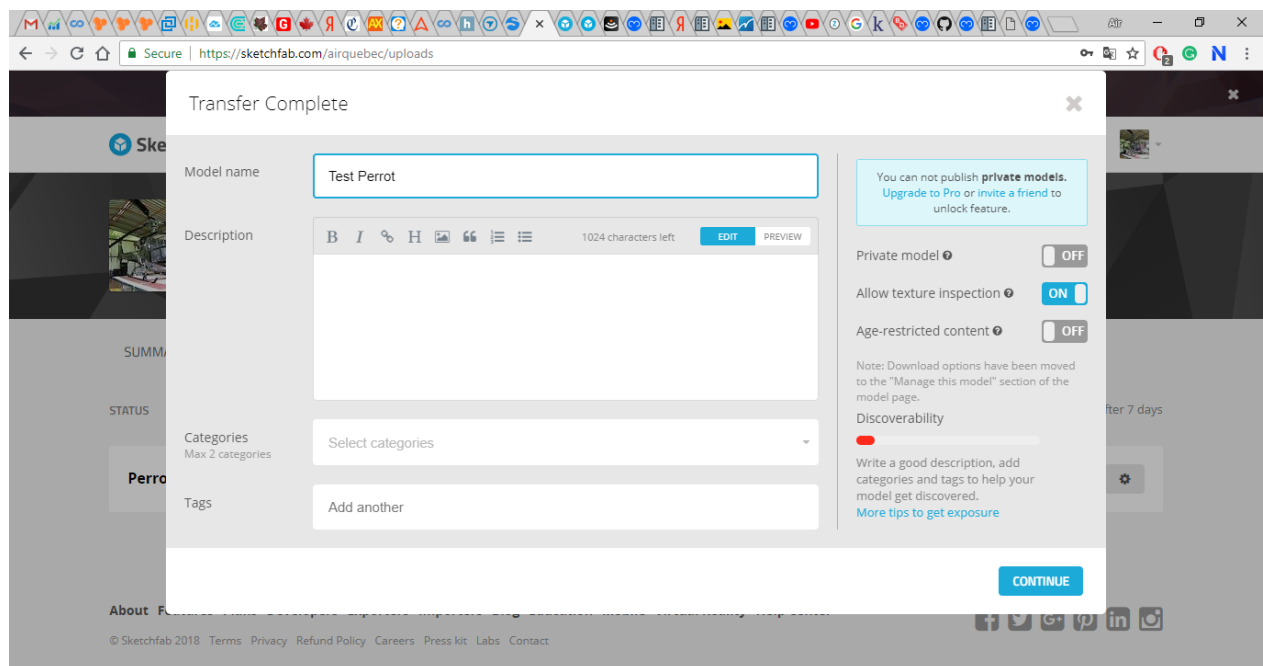


Figure 25 - Sauvegarde du fichier dans Sketchfab

En ce qui a trait à Melown, la procédure de déploiement a subi de nombreux changements dans les derniers mois. Initialement, il était nécessaire d'écrire des lignes de code pour effectuer la mise en ligne d'une image. Désormais, la mise en ligne est possible via une interface graphique ce qui facilite encore plus le déploiement (l'interface est présentée à la Figure 26).

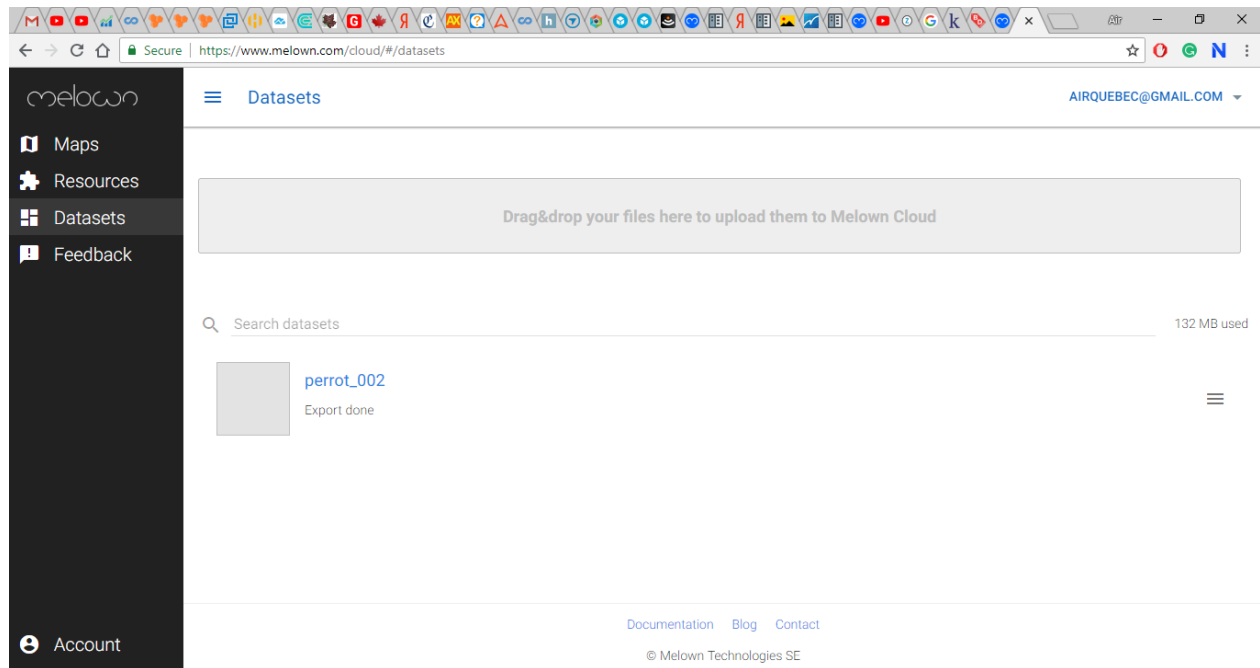


Figure 26 - Interface graphique de Melown Cloud

Melown accepte le format .tls du programme Agisoft Photoscan. Nous avons donc exporté notre image Agisoft sous ce format. Nous avons ensuite suivi les instructions de l'interface graphique pour téléverser le fichier .tls sur le serveur de Melown Cloud (un exemple est présenté à la Figure 27). Une fois le fichier .tls présent sur le serveur (Figure 28), quelques manipulations ont dû être effectuées pour obtenir notre carte Web. Le fichier .tls étant un fichier « brut », il faut effectuer une sorte de « raffinage » du fichier. Pour ce faire, nous avons converti le fichier .tls en ce que Melown appelle une « Ressource » (Figure 29). Une fois le fichier converti en « Ressource », Melown nous

a offert la possibilité de créer une carte. Nous avons donc créé une carte à partir de notre « Ressource » (Figure 30) et l'avons finalement publiée en utilisant l'option prévue à cet effet (Figure 31).

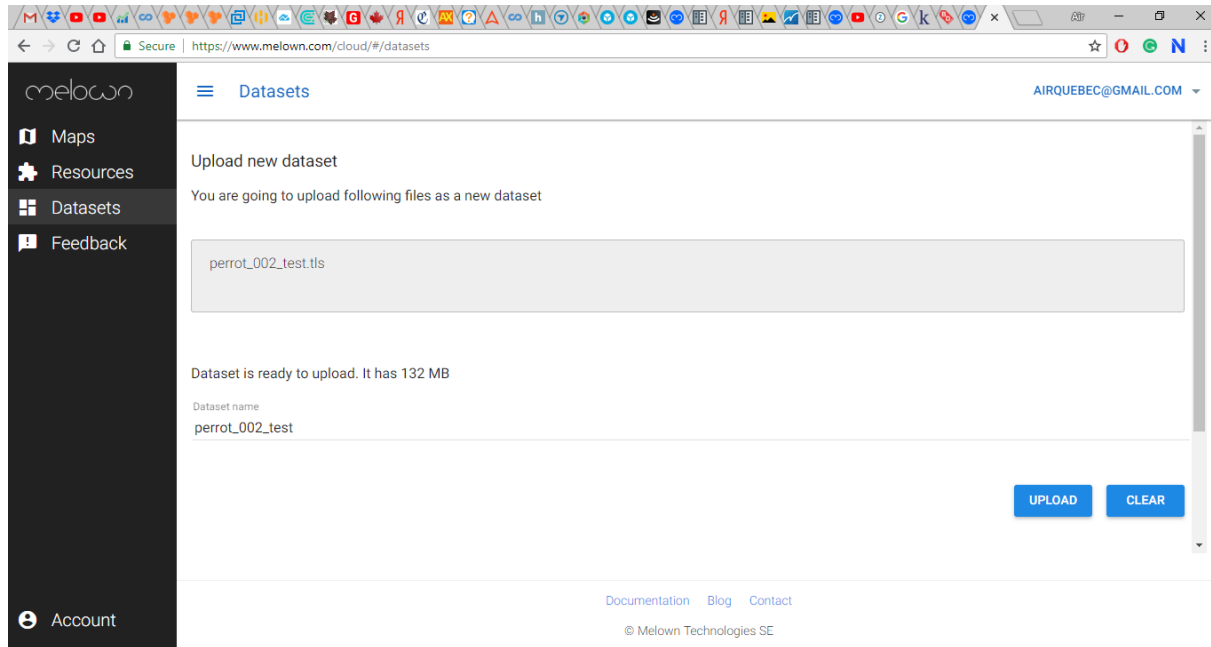


Figure 27 - Téléversement du fichier sur le serveur Melown Cloud

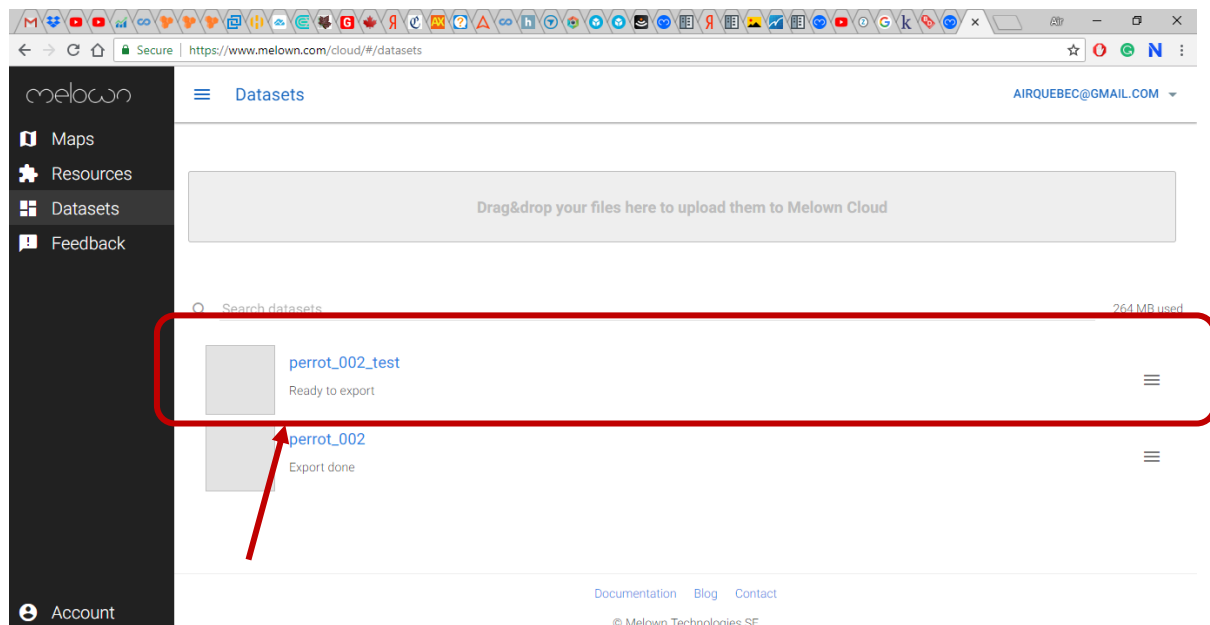


Figure 28 - Interface Melown Cloud une fois le fichier .TLS importé sur le serveur

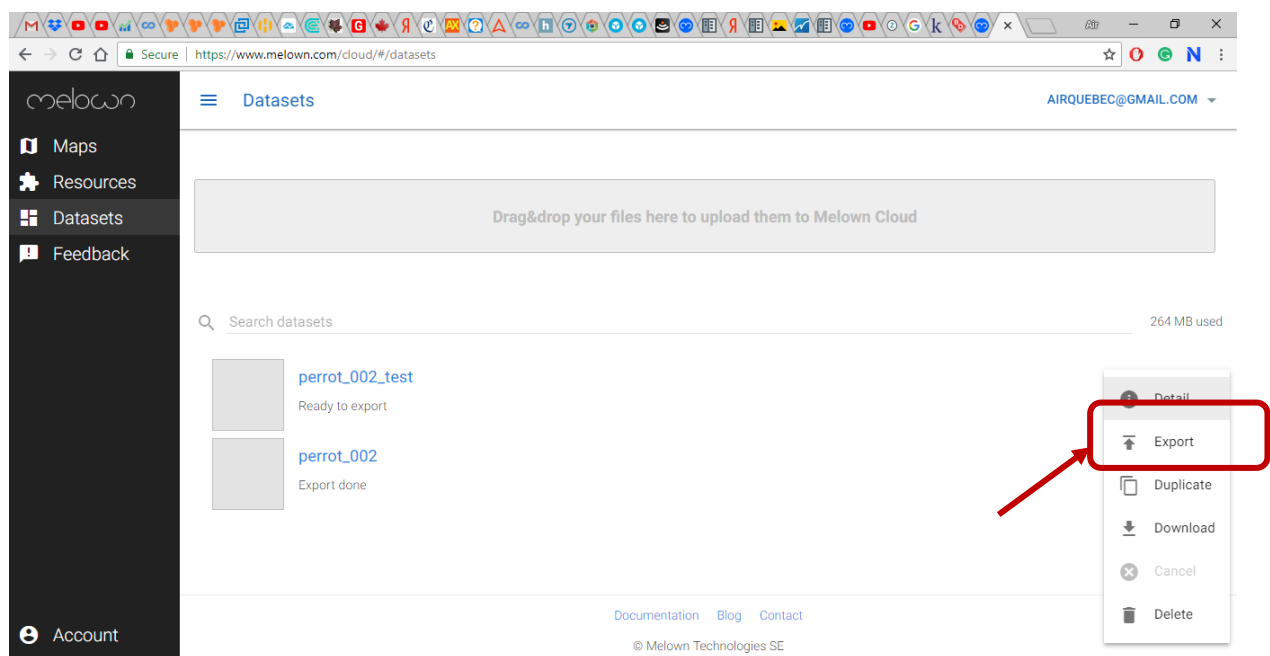


Figure 29 - Exportation du fichier .TLS en "Ressource Melown"

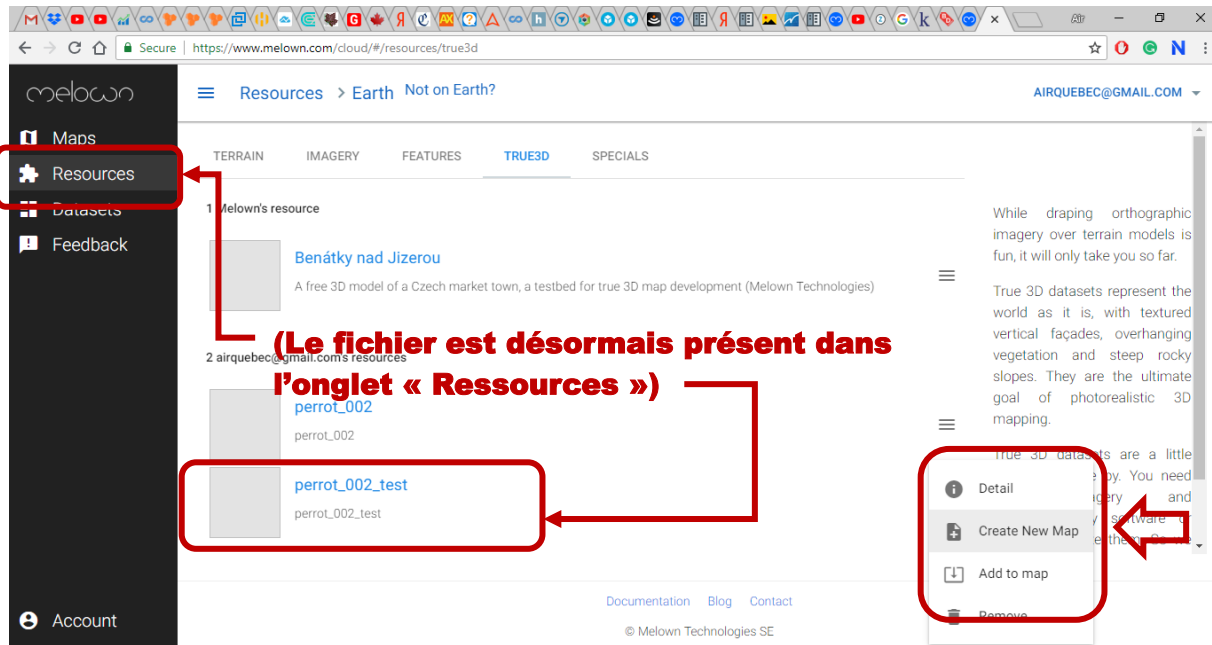


Figure 30 - Création d'une carte à partir de la "Ressource"

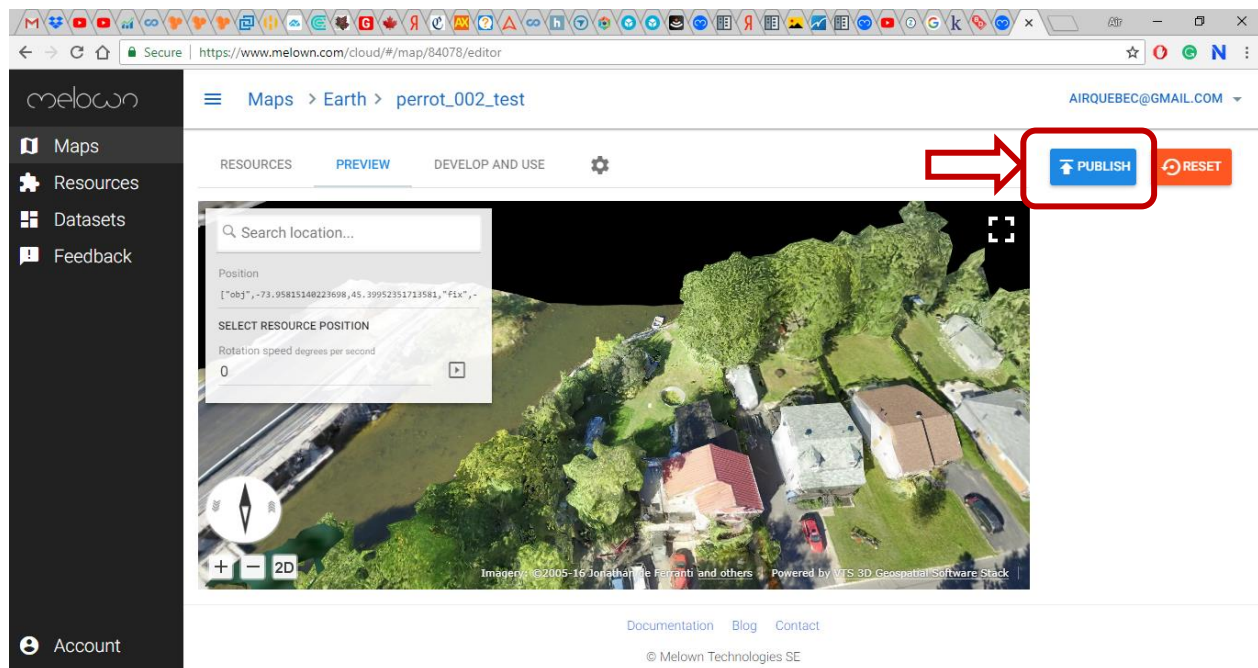


Figure 31 - Publication de la carte achevée

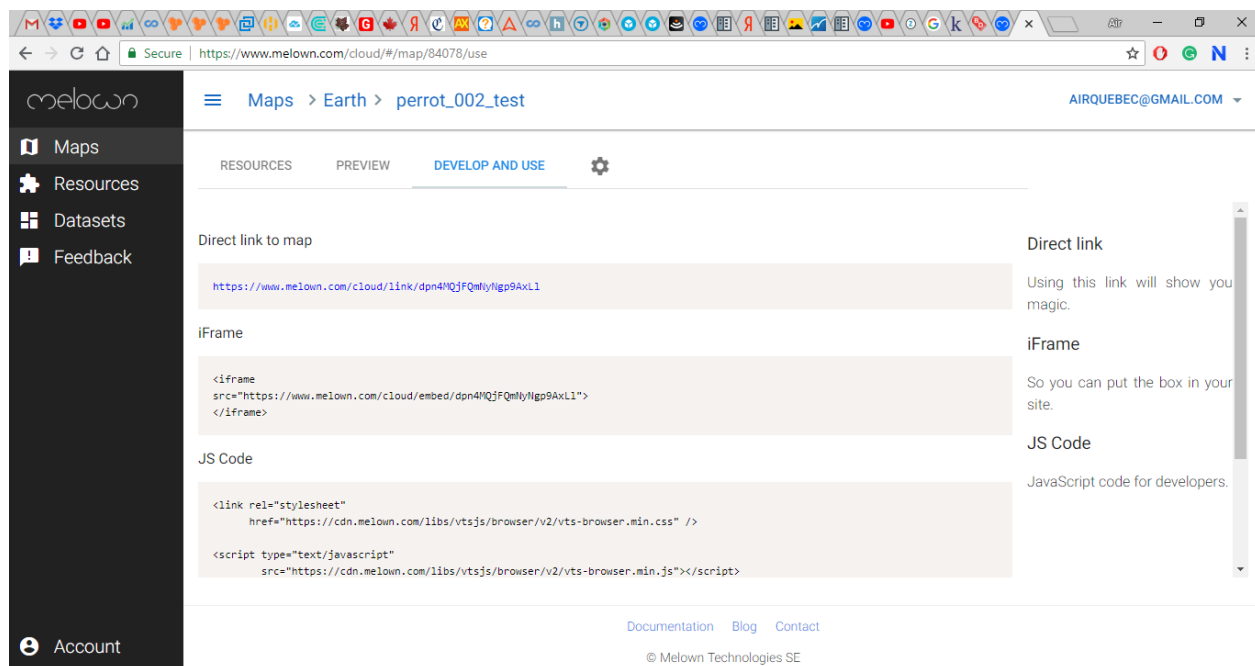


Figure 32 - URL de la model 3D avec description du JS code

Une fois la carte publiée, elle devient accessible sur le Web via un lien URL (Figure 32). Si on le souhaite, il est ensuite possible d'intégrer la carte à un site Web ou bien d'y apporter des éléments de programmation en utilisant le langage JavaScript. C'est d'ailleurs ce qui est particulièrement intéressant avec Melown : il est possible de personnaliser une carte avec des lignes de code. Un exemple de personnalisation serait l'ajout d'une couche contenant les noms des rues (cet exemple est présenté la Figure 33, avec une couche OSM). Nous avons également mis à l'essai une autre modification : nous avons ajouté à la carte un menu de boutons qui permet de sélectionner instantanément une position géographique précise sur la carte (Figure 34). Cette modification a été réalisée avec du code JavaScript (annexe 3).

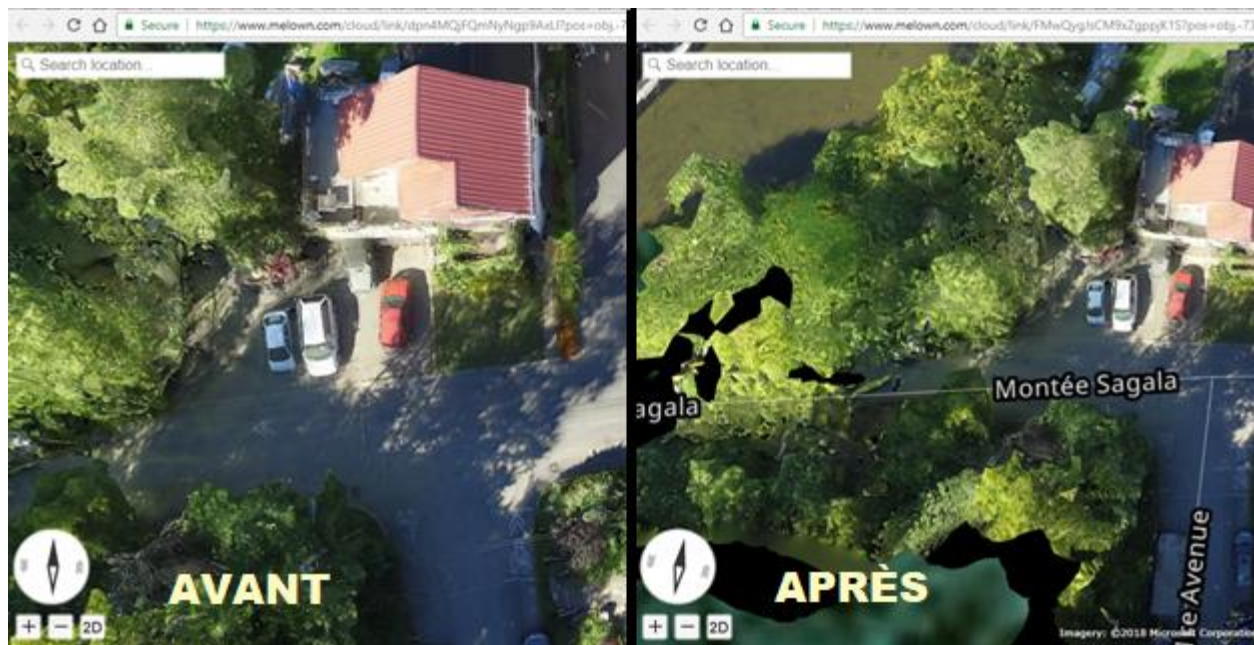


Figure 33 – Model 3D avant et après personnalisation (source : Melown, 2018)

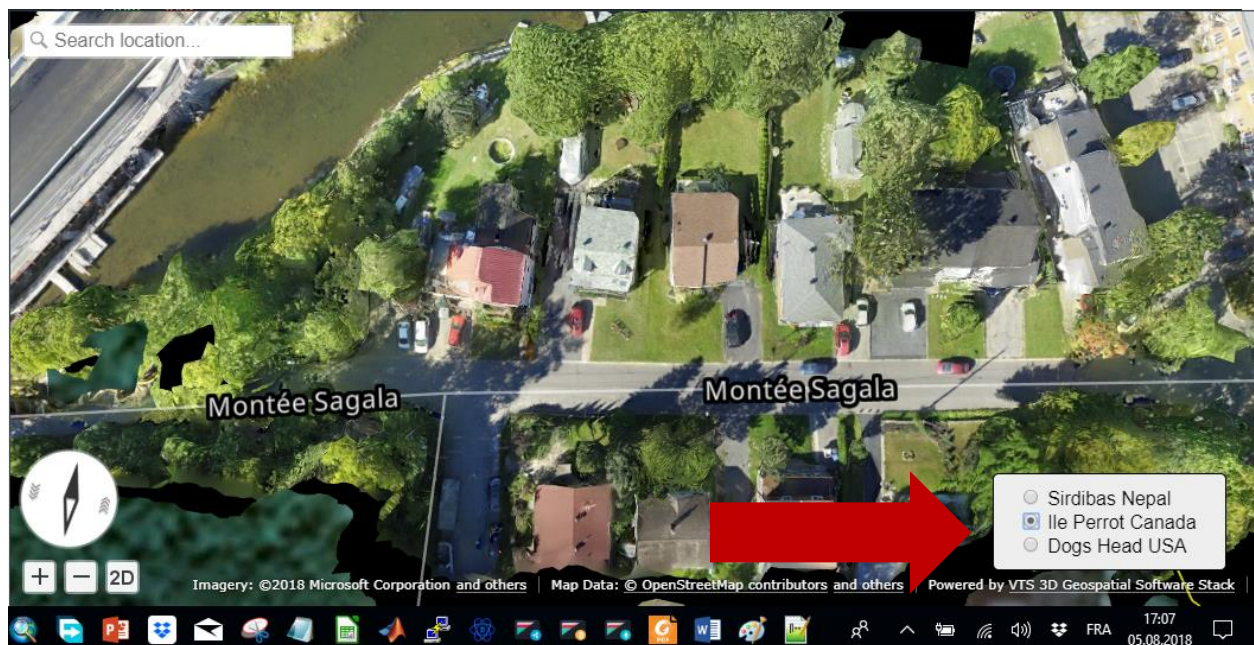


Figure 34 - Ajout d'un menu (source : Melown, 2018)

4.6. Exploitation des résultats

L'exploitation des résultats se résume à consulter l'image ou à y prendre des mesures. Dans notre projet, nous n'effectuerons des mesures que sur notre image 2D (dans Google Earth). Les images 3D ne seront visualisées uniquement dans des outils Web (Melown et SketchFab). La Figure 35 présente l'image dans l'outil Google Earth. Cette figure montre également l'outil « règle » qui permet d'effectuer des mesures dans Google Earth. Ici, l'outil règle mesure le périmètre de l'image obtenue.

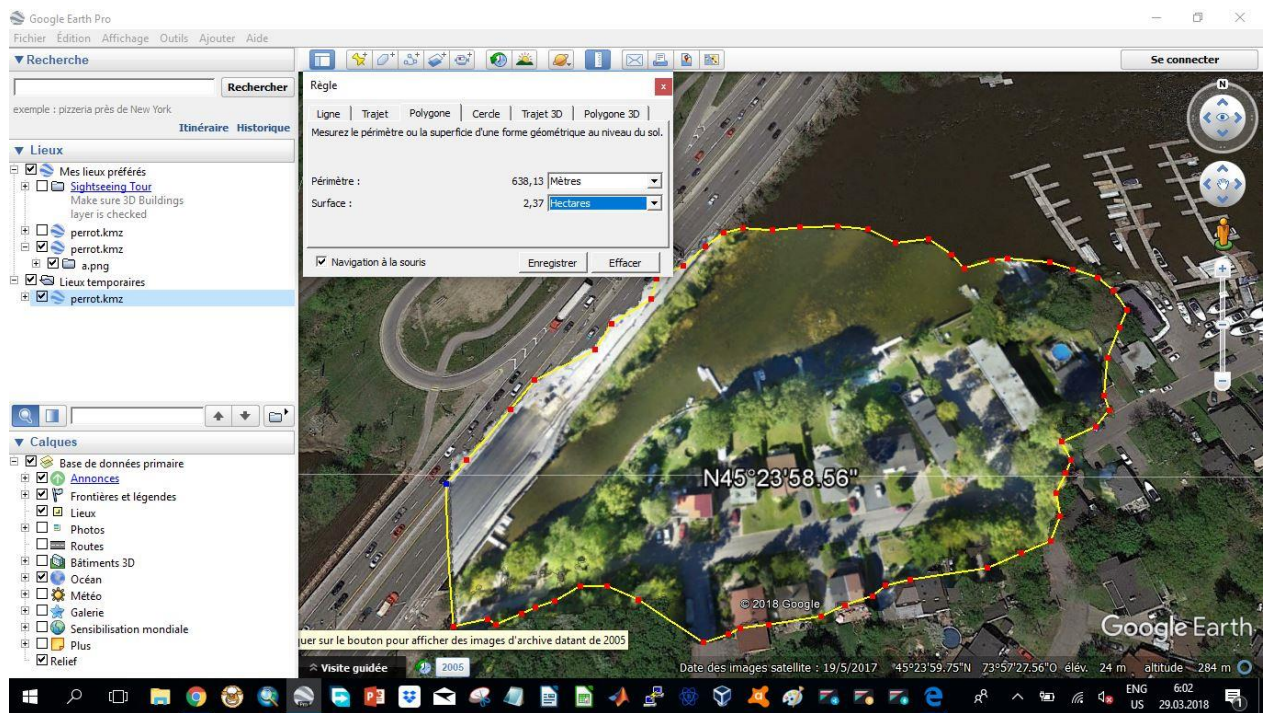


Figure 35 - Visualisation du résultat sur Google Earth & Outil de mesure Google Earth

La Figure 36 et la Figure 37 nous montrent, respectivement, l'image 3D diffusée via l'outil Web SketchFab, et diffusée via l'outil Web Melown Cloud.

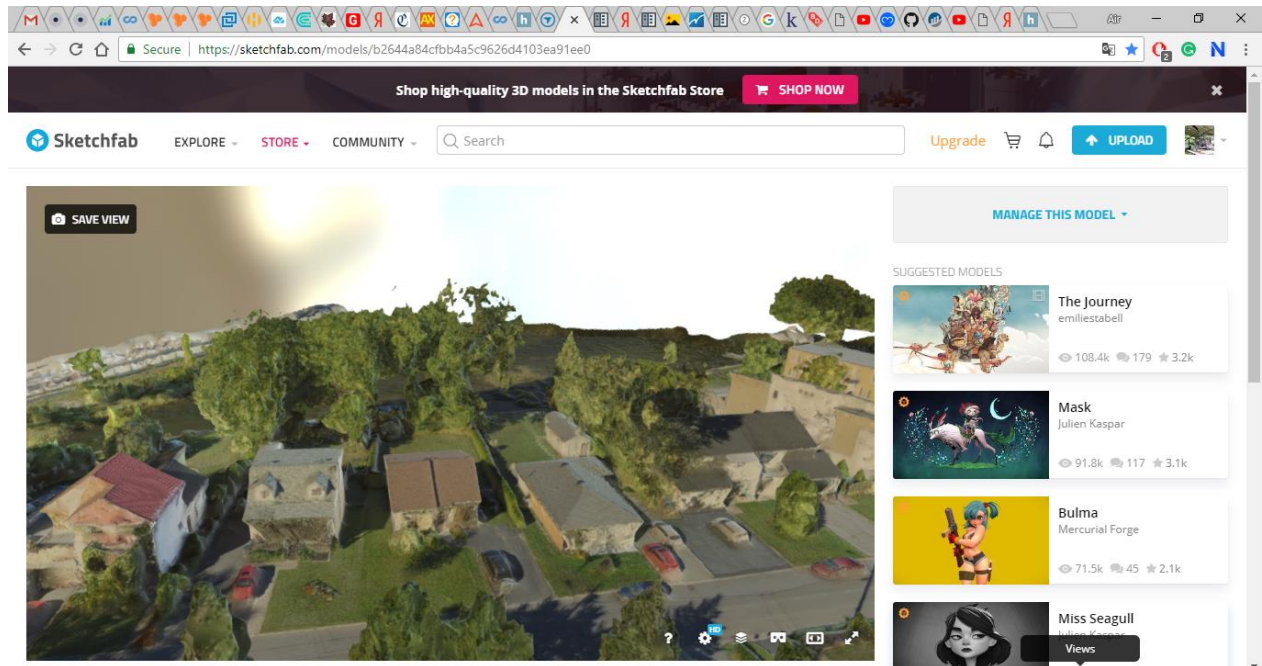


Figure 36 - Visualisation de l'image 3D (source : SketchFab, 2017)

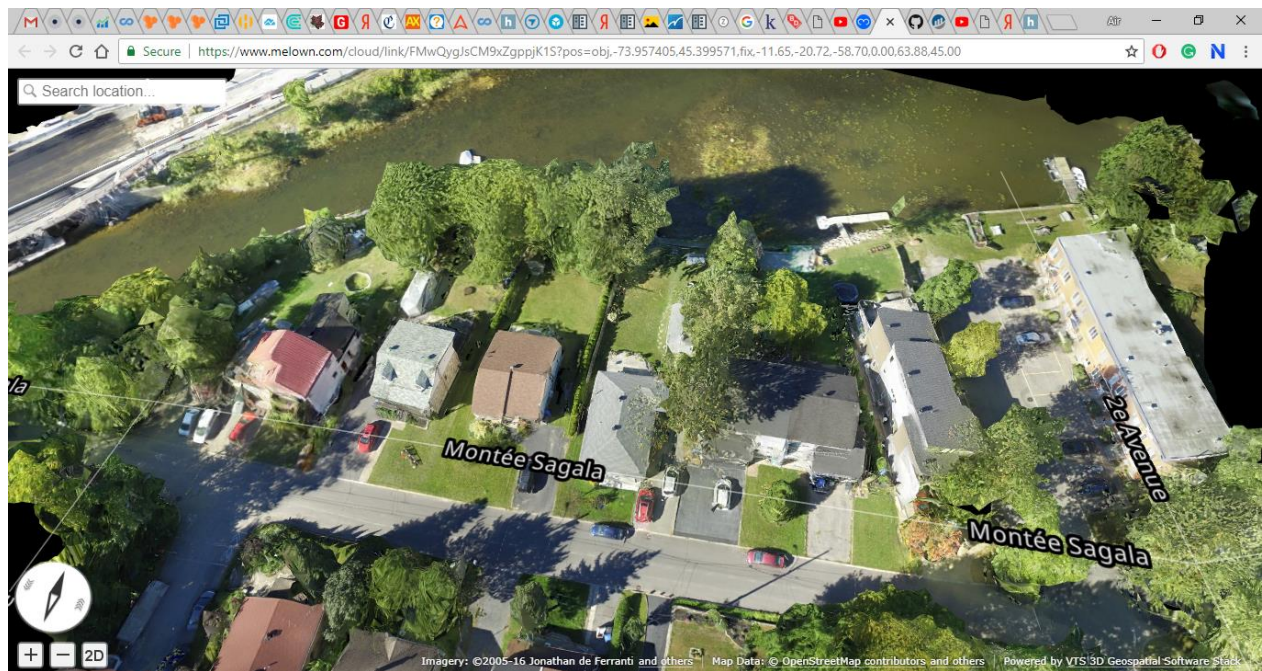


Figure 37 - Visualisation de l'image 3D (source : Melown, 2018)

4.7. Évaluation des résultats

Pour évaluer le résultat obtenu, l'approche proposée est d'effectuer une comparaison entre les mesures obtenues sur l'image et des mesures obtenues sur le terrain. On peut mesurer, par exemple, le diamètre d'une bouche d'égout sur le terrain, puis prendre la même mesure sur l'image (en utilisant les fonctions de mesure sur Google Earth, Melown ou le logiciel de son choix). En effectuant un calcul d'erreur relative avec ces deux mesures, on obtient le pourcentage d'erreur relative, qui est un indicateur de précision. Il est possible d'utiliser un autre étalon que la mesure d'une bouche d'égout : mesure prise par un arpenteur-géomètre, mesure d'une pièce de construction de taille connue (exemple : tuile de toit donc la longueur exacte est fournie par le constructeur), etc. Pour les besoins de cet essai, plusieurs éléments du paysage ont été choisis afin de vérifier que les données acquises par un drone pourraient être une source d'information assez précise. Il faut toutefois noter que d'autres travaux de recherche devraient être faits, notamment en tenant compte des conditions d'acquisition, des paramètres de traitement ou encore des erreurs de lecture, afin d'apporter une conclusion plus claire.

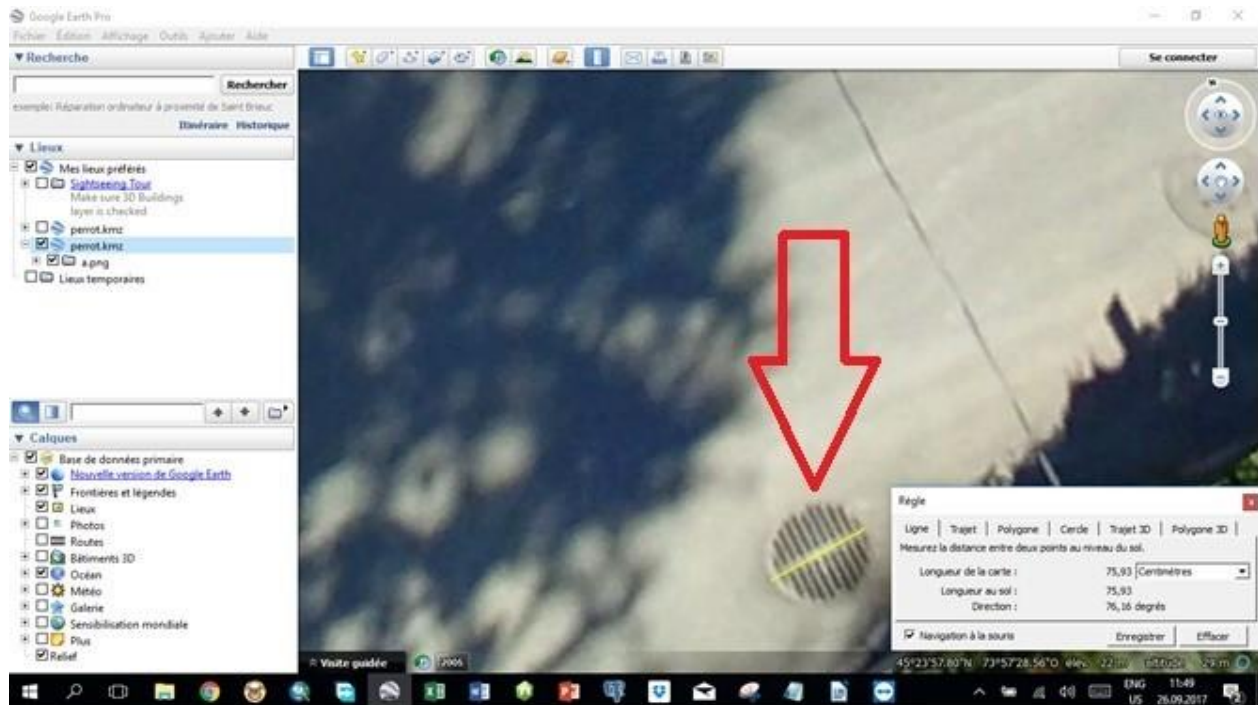


Figure 38 - Mesure Google Earth d'une plaque d'égout

Un de nos éléments est une plaque d'égout. Dans l'image présentée ci-dessus (Figure 38), dans Google Earth la mesure indique que le diamètre de la bouche d'égout mesure 75,93 cm. Lorsque l'on prend la mesure de manière manuelle (Figure 39), cette mesure vaut 76 cm. Il suffit ensuite d'effectuer le calcul d'erreur relative afin d'obtenir une indication de la qualité du résultat final.

Exemple de calcul d'erreur relative :

$$E_R = \frac{Mesure_{Google\ Earth} - Mesure_{réelle}}{Mesure_{réelle}} \times 100 \%$$

$$E_R = \frac{75,93\ cm - 76,00\ cm}{76,00\ cm} \times 100 \%$$

$$E_R = -0,092 \%$$



Figure 39 - Mesure manuelle du diamètre d'une bouche d'égout

Un autre élément du paysage utilisé pour évaluer la qualité des données du drones est de considérer le bâti. Par exemple, on peut utiliser les dimensions d'un élément d'une maison. On utilisera alors les dimensions des murs de la maison comme références. Aux figures Figure 40 et Figure 41, c'est le plan cadastral de la ville qui sert de référence. Des exemples de mesure supplémentaires sont présentés à la Figure 42 et à la Figure 43.

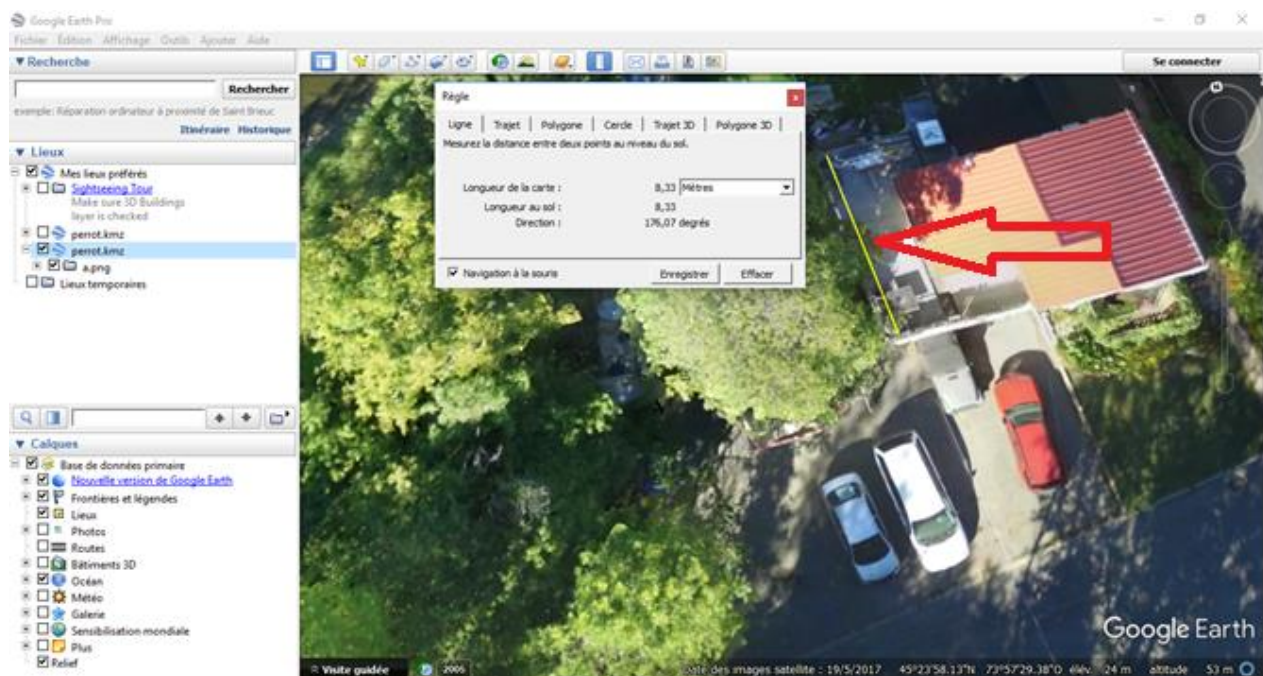


Figure 40 - Mesure du bâti sur Google Earth

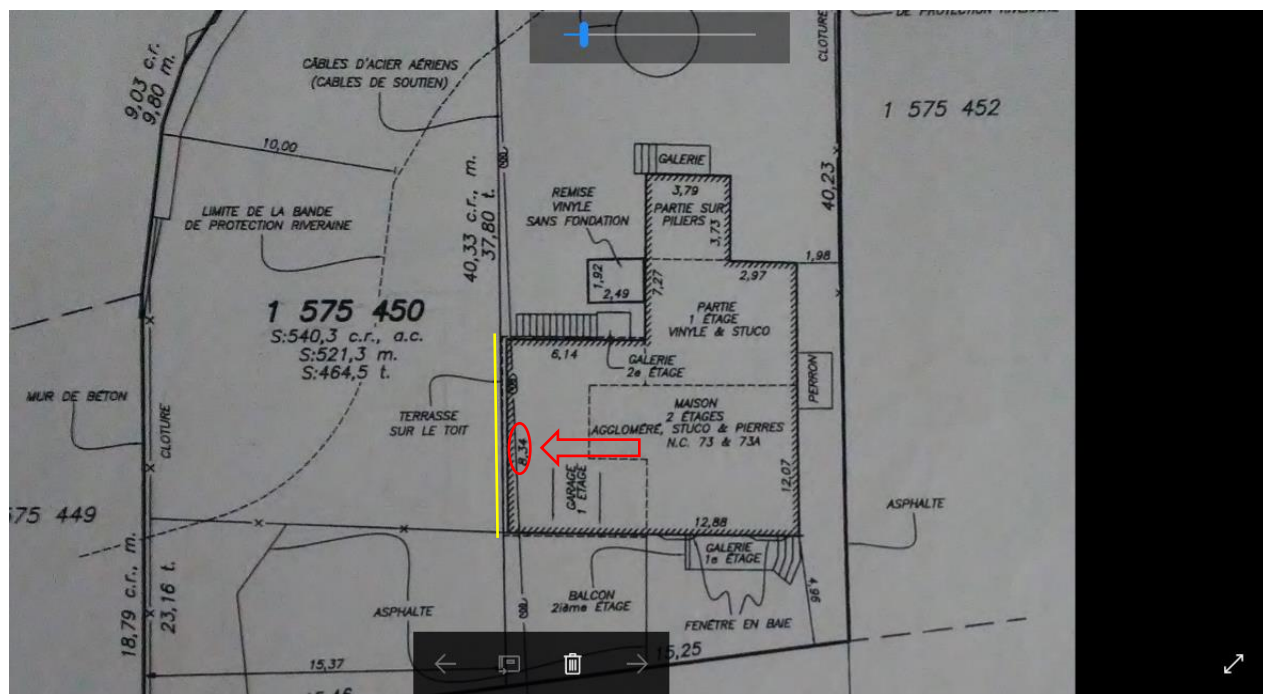


Figure 41- Mesure du bâti sur le document (plan cadastral)

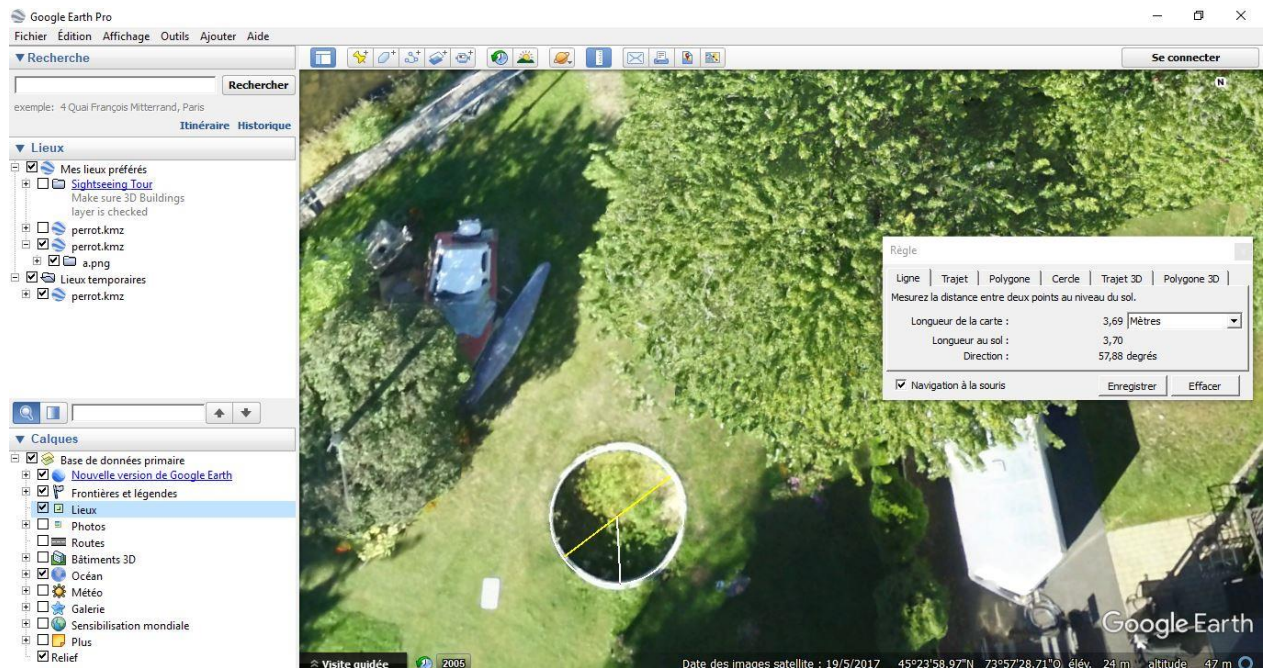


Figure 42 - Mesure Google Earth (diamètre piscine)

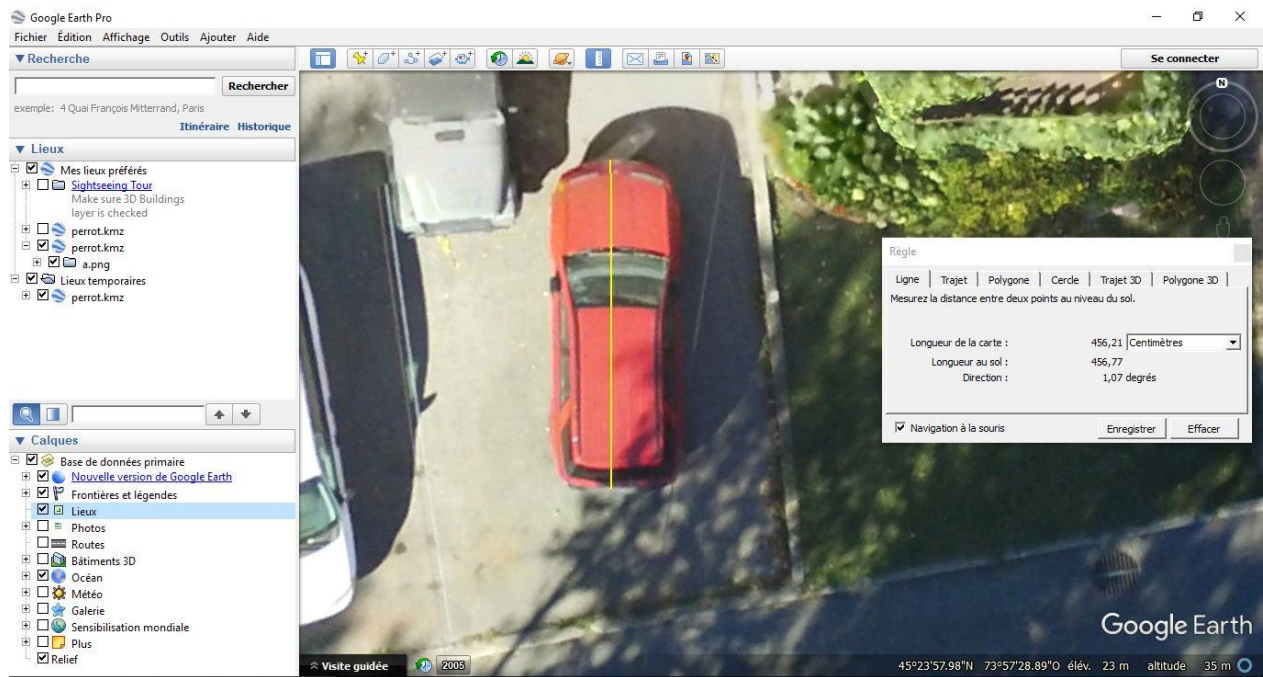


Figure 43 - Mesure Google Earth (longueur voiture « Saturn Vue »)

Le but de cette étape est de pouvoir obtenir une idée de la précision des mesures que l'on peut faire avec notre approche.

5. Résultats

Le vol a duré approximativement 10 minutes, et a eu lieu à une altitude de 25 m. La surface couverte par le drone est d'environ 2370 m² et le périmètre est de 638 m. L'objectif de la caméra a été placé à un angle avoisinant 20°. Il aurait été possible d'ajuster l'angle de la caméra afin de favoriser la précision de l'image 2D ou de l'image 3D (par exemple : un angle nul est préférable lorsque l'on souhaite créer une image 2D). Dans notre cas, un angle de 20° permet d'avoir un bon compromis et d'obtenir un bon résultat général.

Les résultats obtenus dans cet essai sont de plusieurs ordres :

- L'image 2D permettant de prendre des mesures d'objets de la scène ou même de représenter la scène dans un outil cartographique.
- L'image 3D permettant de représenter la scène en 3D pour être utilisée pour des fins de meilleure compréhension de la scène.
- L'évaluation de la qualité des données avec des éléments de référence.

Les deux images ont pu être aussi diffusées via le Web par le biais d'outils adaptés, tels que Sketchfab ou Melown Cloud.

5.1. Plans 2D

Une fois les images aériennes traitées, leur traitement a donné une image exportable au format KMZ sur Google Earth (voir Figure 44).

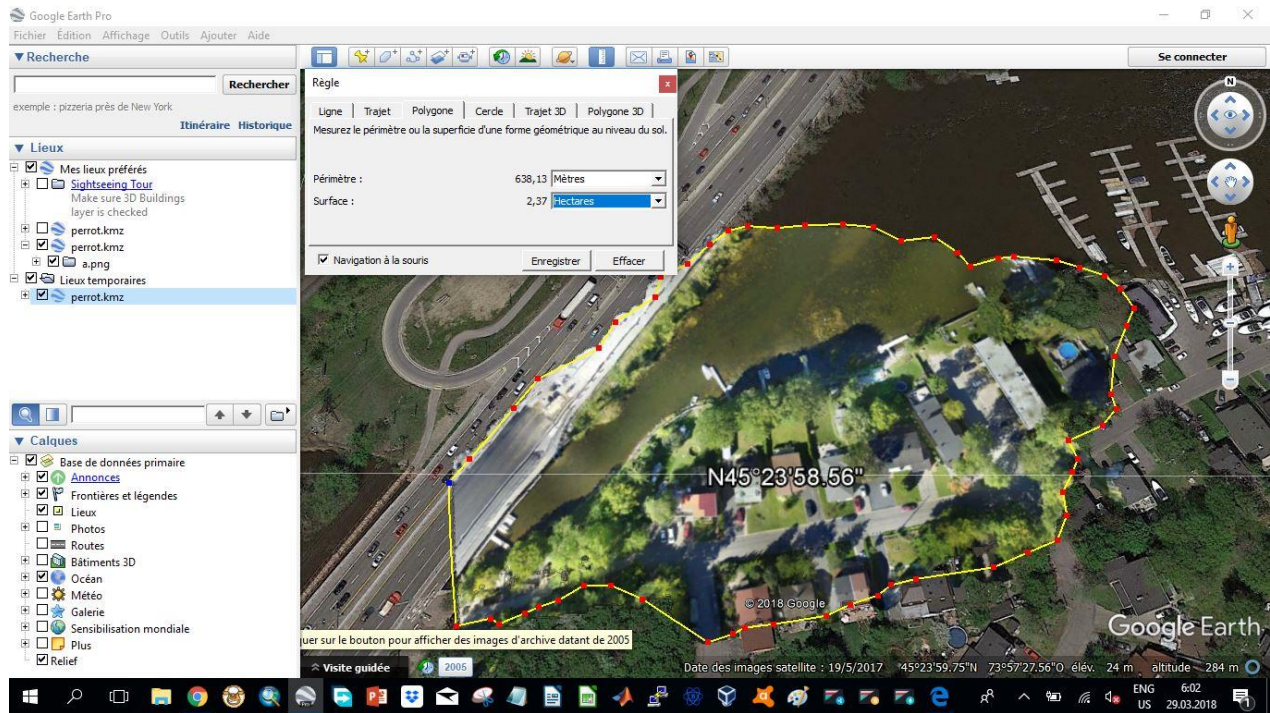


Figure 44 - Plans 2D sur Google Earth (format KMZ)

La taille de l'information à transmettre pour chaque scène nécessite de passer par un format compressé, le KMZ. La scène acquise a pu être exploitée dans un outil compatible avec le format KMZ et il a été possible d'effectuer des mesures sur la scène.

5.2. Image 3D

Alternativement, nous avons créé une image 3D à l'aide du logiciel Agisoft (Figure 45). Le format utilisé est alors PSX.

La 3D exige de faire appel à des outils particuliers afin d'exploiter et de visualiser adéquatement une scène. Il faut noter que les outils utilisés permettent d'exporter les données de la scène dans des formats exploitables par les logiciels les plus répandus sur le marché.

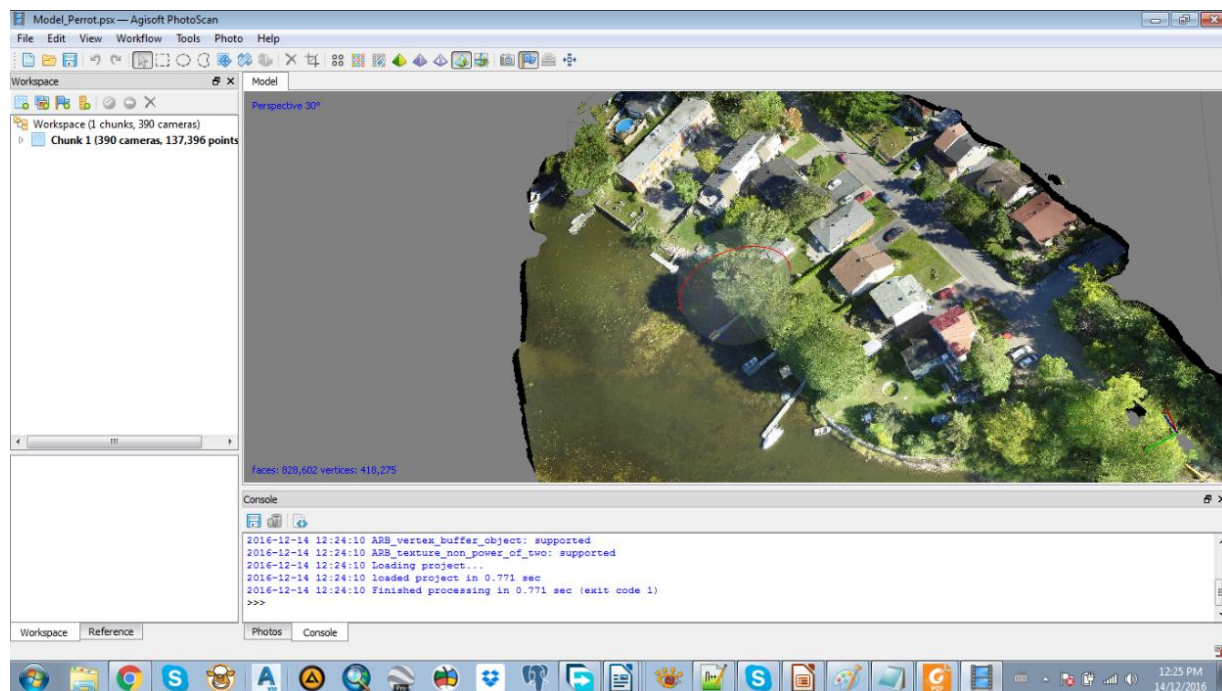


Figure 45 - Résultat obtenu dans AgisoftPhotoscan

5.3. Image 3D dans le navigateur Web

Une fois l'image 3D obtenue, il est possible d'exporter l'image dans l'outil Web de son choix *Melown* (Figure 46) ou *Sketchfab* (Figure 47).

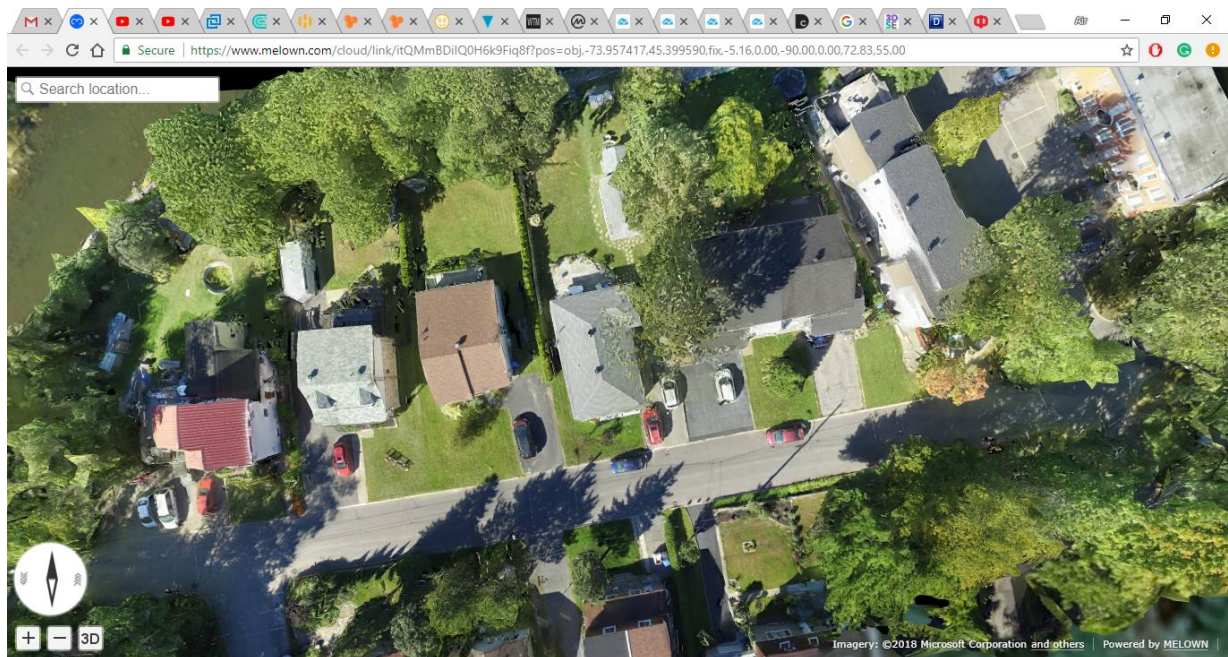


Figure 46 - Image 3D dans un outil WEB(Melown) (source : Melown, 2018)

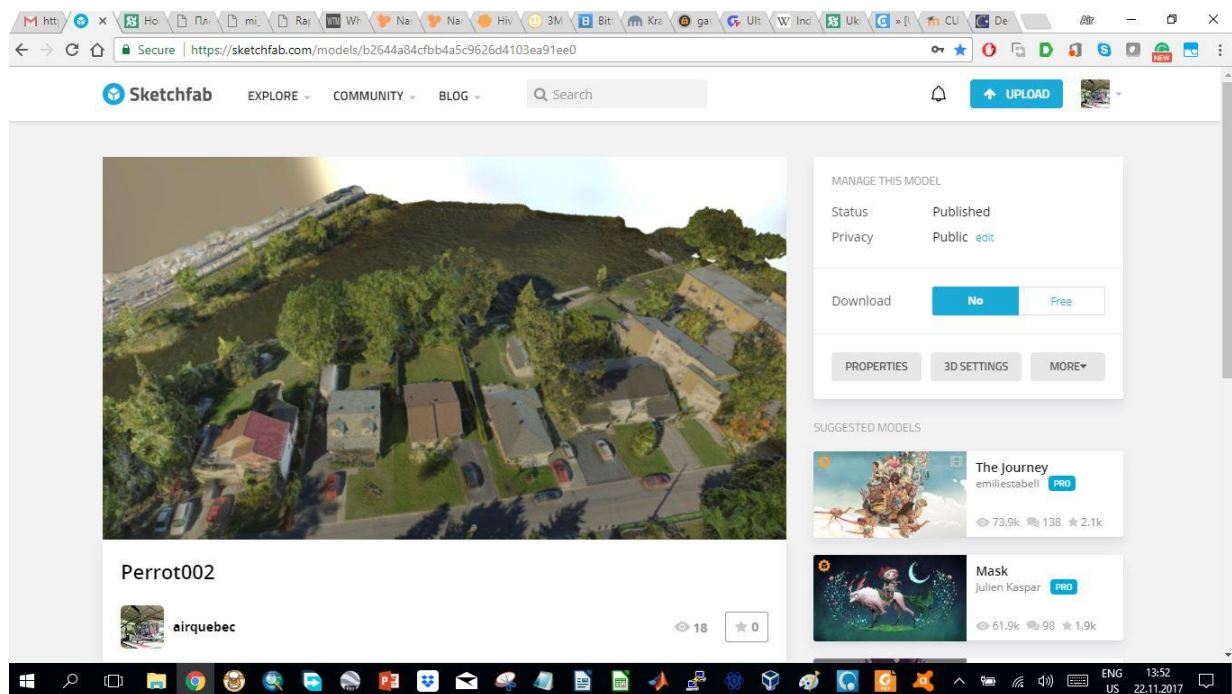


Figure 47 - Image 3D dans un outil WEB(Sketchfab) (source : Sketchfab, 2018b)

Le 3D au niveau du Web est en pleine évolution. Les outils Web ou même les navigateurs ne sont pas encore totalement adaptés à ce genre d'informations. Il faut noter qu'en général les plateformes de traitement de données de drone proposent leur propre outil de visualisation. De nombreux développements sont en cours pour rendre un peu plus accessible ce genre de données par le grand public, ou même d'offrir des API ouvertes permettant à des développeurs d'intégrer les données dans leur projet.

5.4. Comparaison de mesures

Pour évaluer la qualité des données, on a utilisé une série d'éléments qui sont présentés dans le tableau 5. Des mesures ont été faites sur les images obtenus sur Google Earth. Elles sont comparées à la valeur réelle de l'objet mesuré (lorsque nécessaire, les valeurs ont été converties en mètres).

Tableau 4 - Comparaison de mesures

	Mesure sur Google Earth (m)	Mesure réelle (m)	Erreur relative
Diamètre de piscine	3.700	3.700	0%
Longueur voiture (Saturn Vue)	4.568	4.576	-0.18 %
Longueur voiture (Ford Freestar)	5.116	5.105	+0.21 %
Largeur voiture (Ford Freestar)	1.940	1.945	-0.25%
Longueur de maison	8.330	8.340	-0.12%
Diamètre de plaque d'égout	0.759	0.760	-0.092%

On peut souligner que les erreurs relatives semblent indiquer une certaine adéquation entre les mesures prises sur le terrain et celles que l'on pourrait faire sur l'outil cartographique. Il faut toutefois garder à l'esprit qu'une recherche plus approfondie devrait être faite pour déduire plus précisément la possibilité d'utiliser les données de drone quel que soient les conditions d'acquisition et les paramètres des traitements.

6. Analyse et discussion des résultats

6.1. Temps de traitement

L'ordinateur utilisé pour effectuer le traitement des données n'était pas suffisamment puissant pour traiter les données rapidement. Le travail à effectuer a surchargé l'ordinateur, et il lui a fallu 3 journées entières pour réaliser le calcul. Un second essai de traitement effectué avec une carte graphique spécialisée (1080TI) a permis d'obtenir des résultats en quelques heures seulement. Le choix de l'équipement informatique représente donc un facteur à prendre en considération.

6.2. Obtention d'une image 2D ou 3D

Dans le cadre de ce travail, nous avons réalisé une image 2D ainsi qu'une image 3D. Nous n'avons toutefois pas exploité les deux images de la même manière.

À l'aide de notre image 2D, nous souhaitons principalement montrer :

- 1) qu'il était possible d'obtenir des mesures très précises via notre méthode ;
- 2) que la méthode pourrait éventuellement servir d'alternative aux moyens « classiques » (exemple : arpentage).

C'est la raison pour laquelle la majeure partie de nos efforts a été consacrée à l'obtention d'une image 2D avec la précision la plus élevée possible.

Tandis que pour l'image 3D, nous souhaitons pouvoir diffuser les données en 3D pour une simple consultation. Il est toutefois possible d'obtenir la même précision en 2D et en 3D mais au détriment de la taille des données et du temps de traitement.

Il pourrait cependant être très intéressant de perfectionner l'exploitation de l'image 3D.

6.3. Qualité des résultats

Nous faisons également remarquer qu'il est important de choisir de bonnes conditions météorologiques pour effectuer le vol. Si l'éclairage n'est pas adéquat au moment du vol (trop ou trop peu de soleil), il risque d'y avoir des erreurs lors du traitement des images. Par exemple, s'il y a un ensoleillement trop important, cela crée beaucoup d'ombres sur les images. Ces ombres fausseront les résultats, car ils affecteront la manière dont le logiciel de traitement analysera les pixels.

La précision des résultats est également affectée par l'altitude de vol : une altitude plus élevée permet de couvrir une superficie plus large, mais la précision des mesures est diminuée car la quantité de pixels par unité de surface est réduite.

Notons également qu'un des points faibles de cette méthode réside dans l'éventuelle présence d'obstacles lors du vol du drone. Une solution éventuelle à ce problème pourrait être de diminuer l'altitude de vol (selon la taille de l'obstacle, bien évidemment). Notons qu'il ne s'agit toutefois pas d'un problème propre à cette méthode. Les méthodes basées sur LIDAR, les photos aériennes et autres présentent exactement la même contrainte

6.4. Intérêt de la méthode

Un des avantages majeurs de la méthode que nous présentons est la réduction des coûts. En effet, le coût est très fortement réduit par rapport aux méthodes traditionnelles (LIDAR et autres), alors que les résultats obtenus sont de qualité similaire.

Les applications possibles de cette méthode sont nombreuses : inspection de ligne électrique, inspections aériennes suivant une avalanche, suivi d'inondation (construction rapide de carte via le drone), etc.

7. Conclusion et recommandations

La méthode proposée est prometteuse. En effet, elle permet de réaliser des images et d'obtenir des mesures précises avec un minimum de moyens. Il suffit d'un drone, d'un ordinateur et de quelques logiciels. En comparaison avec des méthodes traditionnelles, le coût est extrêmement réduit.

Nous recommandons cependant de répéter la méthode à l'aide d'un ordinateur plus puissant que celui utilisé lors de cette modélisation. Nous pensons que l'usage d'un ordinateur mieux équipé permettrait de réduire énormément le temps de calcul requis par l'ordinateur.

Il serait intéressant de vérifier l'influence des conditions d'acquisition sur la qualité des données, donc de la mesure qui peut être faite sur la carte numérique obtenue. De plus, il faut noter que l'obtention de la carte passe par une série d'étapes où chaque étape dispose de ses propres paramètres. Il serait intéressant de vérifier si une mauvaise estimation d'un paramètre a une influence sur la qualité des résultats.

Il serait également intéressant d'explorer plus en profondeur tout l'aspect 3D de la méthode. On pourrait analyser l'influence de divers paramètres sur le résultat 3D (angle de la caméra, par exemple). Il serait également intéressant d'améliorer la méthodologie afin d'obtenir des mesures 3D autant précises que celles que nous avons obtenues en 2D.

8. Références

AirQuebec (2017) Futur projet de REM versus les zones écologiques protégées [Carte numérique interactive] <https://airquebec.carto.com/builder/8d71bc98-1ad5-11e7-ac4f-0ecd1babdde5/embed> (Consultées le 30 juin 2017)

Agafonkin V. (2017) Leaflet — an open-source JavaScript library for interactive maps. [En ligne] <http://leafletjs.com/>_(Page consultée le 1 juillet 2017).

Agisoft (2018) AgisoftPhotoScan [En ligne] <http://www.agisoft.com/features/standard-edition/> (Page consultée le 21 mars 2018).

Automotive Data Research (ADR). (2018) Maps Made Easy – Features [En ligne] <https://www.mapsmadeeasy.com/features> (Page consultée le 01 avril 2018).

Bauer, J. (2012) *Assessing the robustness of Web feature services necessary to satisfy the requirements of coastal management applications*. Mémoire de maîtrise. Oregon State University, 42 p.

Colomina, I. et Molina, P. (2014) *Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review*, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume 92 (Juin 2014), p.79-97

DJI (2016) Phantom3 User Manual, [En ligne]

https://dl.djicdn.com/downloads/phantom_3_4k/fr/Phantom_3_4K_User_Manual_fr_V1.2_160523.pdf . (Consultée 1 juillet 2017).

DJI Forum (2017) JPEG vs RAW - What is the difference? [En ligne] <https://forum.dji.com/thread-88750-1-1.html>. (Consultées le 30 juin 2017)

DJI Forum (2018) Litchi Vs. DJI Go. [En ligne] <https://forum.dji.com/thread-138996-1-1.html>. Consulté le 1 juillet 2018.

Drone Made Easy (2018) Aerial Map Processing & Hosting. [En ligne] <https://www.mapsmadeeasy.com/>. Consulté le 1 juillet 2018.

DroneDeploy (2018) How to Select The Right DroneDeploy Plan For Your Drone Program [En ligne] https://prismic-io.s3.amazonaws.com/dronedeploy-www%2F523a25ab-4e4f-4698-9978-d69432ecf913_dronedeploy-pricing+comparison-5-2018.pdf. Consulté le 11 juillet 2018.

Geomappando (2015) MapServer vs GeoServer: due map server a confronto [En ligne] https://geomappando.com/2015/11/08/geoserver_vs_mapserver. Consulté le 1 juillet 2017.

GeoServer (2018) About, Open Source Geospatial Foundation [En ligne]. <http://geoserver.org/about/> (Page consultée le 31 mars 2018).

Google (2017) GoogleMaps APIs [En ligne] <https://developers.google.com/maps/> (Page consultée le 1 juillet 2017).

Kerle N., *Satellite Remote Sensing as a Tool in Lahar Disaster Management*, Disasters, Volume 26, Édition 2 (Juillet 2002), p.140-160.

Krishna K. N., *Can Satellite Imagery ever replace Aerial Photography? – A photogrammetric view*, ISPRS Archives, Volume XXVII, Partie B4 (1988).

Lidar (2016) LiDAR vs Photogrammetry [En ligne] <http://flight-evolved.com/lidar-vs-photogrammetry/> (Page consultée le 1 juillet 2018).

Manjaro (2017) The Best UAV Aerial Mapping Software You Should Try [En ligne] <https://manjaro.site/the-best-uav-aerial-mapping-software-try/> (Page consultée le 1 juillet 2018).

Melown (2018) Melown [Image numérique interactive] <https://www.melown.com/cloud/link/itQMmBDiIQ0H6k9Fiq8f?pos=obj,-73.957417,45.399590,fix,-5.16,0.00,-90.00,0.00,72.83,55.00> (Page consultée le 31 mars 2018).

Open Geospatial Consortium (2011) OGC Reference Model [En ligne] <http://rap.opengeospatial.org/orm.php> (Page consultée le 1 juillet 2017).

Pix4D SA (2017) Pix4Dmapper : Photogrammetry software [En ligne] <https://pix4d.com/product/pix4dmapper/#> (Page consultée le 1 juillet 2017).

Polymaps (2017) Documentation. [En ligne] <http://polymaps.org/docs/> (Page consultée le 1 juillet 2017).

PostGIS (2018) PostGIS 2.4.5dev Manual [En ligne] <https://postgis.net/docs/manual-2.4/> (Page consultée le 1 juillet 2018).

Remondino F. *et al.* (2011), *UAV Photogrammetry for mapping and 3D modelling – Current status and future perspectives*, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVIII-1/C22UAV-g2011

Rokhmana C. A. (2015), *The potential of UAV-based remote sensing for supporting precision agriculture in Indonesia*, Procedia Environmental Sciences, Volume 24, 2015, p.245-253.

Sketchfab (2018a) About Sketchfab [En ligne] <https://sketchfab.com/about> (Page consultée le 1 juillet 2018).

Sketchfab (2018b) [Image numérique interactive] <https://sketchfab.com/models/b2644a84cfbb4a5c9626d4103ea91ee0> (Page consultée le 31 mars 2018).

Thomas (2016) Découverte de l'application Litchi pour DJI Phantom et Inspire 1. Blog studioSPORT, [En ligne] <https://blog.studiosport.fr/test-de-lapplication-litchi-pour-dji-phantom-et-inspire-1/> (Page consultée le 1 juillet 2017).

Transports Canada (2017) *Dois-je obtenir une permission pour faire voler mon drone?* [En ligne] https://www.tc.gc.ca/media/documents/ac-opssvs/Infographie_Dois-je_obtenir_une_permission_pour_faire_voler_mon_drone.pdf (Page consultée le 1 juillet 2017).

Transports Canada (2017b) Puis-je bénéficier des exemptions pour UAV? [En ligne] <http://www.tc.gc.ca/media/documents/ac-opssvs/puis-je-beneficier-exemptions-pour-UAV.pdf> (Page consultée le 1 juillet 2017)

Turner D. *et al.* (2011), *Development of an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) for hyper-resolution vineyard mapping based on visible, multispectral and thermal imagery*, article présenté lors de l'International Symposium on Remote Sensing of Environment 2011, 10/04/2011 - 15/04/2011, Sydney.

VC Technology Ltd. (2018) Litchi Mission Hub [Carte numérique interactive]. 2018. <https://flylitchi.com/hub> (Page consultée le 01 avril 2018).

Annexe 1 - Caractéristiques techniques du DJI PHANTOME 3 PRO

Appareil	
Poids (batterie incluse)	1280 g
Vitesse ascensionnelle max.	5 m/s
Vitesse de descente max.	3 m/s
Vitesse max.	16 m/s (mode ATTI, sans vent)
Altitude de vol max.	6000 m
Temps de vol max.	Environ 23 minutes
Plage de température de fonctionnement	0 à 40°C
GPS et GLONASS	

Nacelle	
Plage de vibration angulaire (angle vertical) :	-90° à +30°
Vision Positionne	
Plage de vitesse	<8 m/s (2 m d'altitude)
Plage d'altitude	30 - 300 cm
Portée	30 -300 cm
Conditions d'utilisation	Surface régulière et bien éclairée (Lux > 15)

Caméra	
Capteur	Sony EXMOR 1/2,3"
Pixels effectifs :	12,4 M (nombre total de pixels : 12,76 M)
Objectif	
Champ de vision	94° 20 mm (équivalent 35mm) f/2,8

PlageISO	100-3200 (vidéo) 100-1600 (photo)
Vitesse d'obturation électronique	8 s - 1/8000 s
Taille d'image max.	4000x3000
Modes de photographie prise de vue unique	
Prise de vue en rafale :	3/5/7clichés
AEB (Auto ExposureBracketing) :	3/5 clichés en bracketing à 0,7EV
Mode accéléré	
Modes d'enregistrement vidéo	UHD: 4096x2160p 24/25; 3840x2160p 24/25/30 FHD: 1920x1080p 24/25/30/48/50/60 HD : 1280x720p 24/25/30/48/50/60
Débit binaire vidéo max.	60Mbit/s
Formats de fichiers pris en charge	FAT32/exFAT Photo: JPEG, DNG Vidéo: MP4/MOV (MPEG-4 AVC/H.264)
Types de cartes Micro-SD pris en charge d'une capacité max. de 64 Go :	Classe 10 ou type UHS-1 minimum
Plage de température de fonctionnement :	0 à 40°C

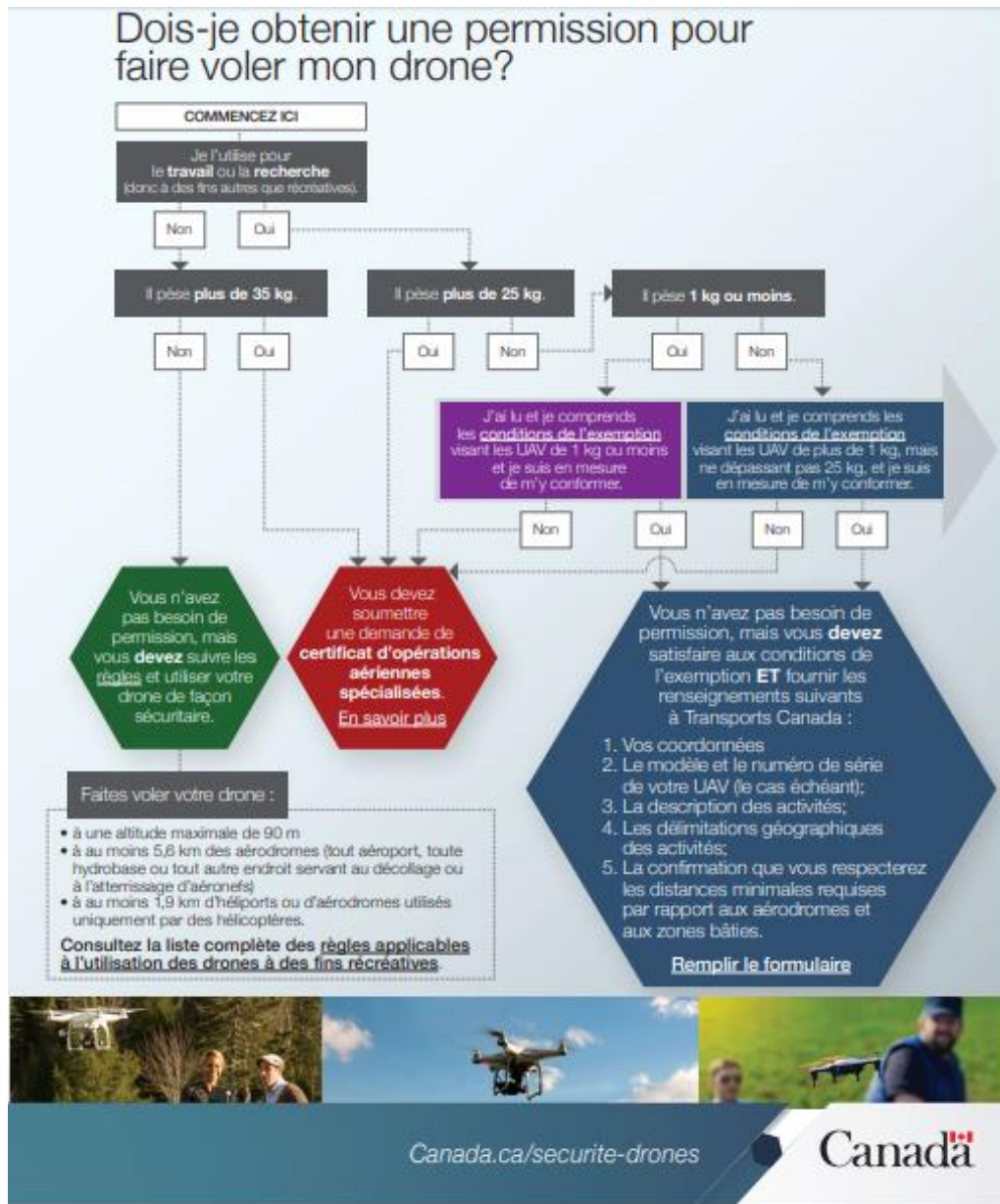
Radiocommande	
Fréquence de fonctionnement	2,400GHz-2,483GHz
Distance de transmission max.	2 km (en extérieur et sans obstacle)
Port de sortie vidéo	USB
Plage de température de fonctionnement	0 à 40°C
Batterie	6000 mAh lipo 2S
Support pour appareil mobile	Tablettes et smartphones

Puissance de l'émetteur (EIRP)	FCC : 20 dbm; CE:16 dbm
Tension de fonctionnement	1,2 A @7,4 V

Chargeur	
Tension	17,4 V
Puissance nominale	100 W

Intelligent Flight Battery (PH3-4 480 mAh-15,2 V)	
Capacité	4480 mAh
Tension	15,2 V
Type de batterie	LiPo 4S
Énergie	68 Wh
Poids net	365 g
Température de fonctionnement	-10 à 40°C
Puissance de charge max.	100 W

Annexe 2 – Permission pour l'usage d'un drone



Annexe 3 – Exemple de code JavaScript pour ajout d'un menu

```
JavaScript + No-Library (pure JS) ▼  
1  var browser = null;  
2  var list = null;  
3  
4  ▼ (function startDemo() {  
10  browser = vts.browser('map-div', {  
11    map: 'https://cdn.melown.com/mario/store/melown2015/map-  
12    config/airquebec_gmail-com/Test/mapConfig.json',  
13    position: ['obj', 84.93164, 28.351981, 'fix', 2728.74, -109.06, -27.28,  
14    0.00, 38255.68, 45.00]  
15  });  
16  ▼ if (!browser) {  
17    console.log('Your web browser does not support WebGL');  
18    return;  
19  }  
20  
24  var panel = browser.ui.addControl('destinations-panel',  
25    '<form id="destinations-div" class="destinations-div">' +  
26    '<input type="radio" name="destination" value="a"> Sirdibas Nepal <br>' +  
27    '<input type="radio" name="destination" value="b"> Ile Perrot Canada <br>' +  
28    '<input type="radio" name="destination" value="c"> Dogs Head USA' +  
29    '</form>');  
34  list = panel.getElement('destinations-div');  
39  list.on('change', onFlyToNewDestination);  
40  })();  
43  ▼ function onFlyToNewDestination() {  
44  ▼ if (browser.map) { //check whether map is loaded  
45    //get selected destination and fly to the new position  
46  ▼ switch (list.getElement().elements['destination'].value) {  
47    case "a":  
48  ▼ browser.autopilot.flyTo(['obj', 84.931640, 28.351981, 'fix', 2728.74,  
49    -109.06, -27.28, 0.00, 10605.11, 45.00]);  
50    break;  
51    case "b":  
52  ▼ browser.autopilot.flyTo(['obj', -73.957951, 45.399405, 'fix', -11.81,  
53    -10.29, -86.38, 0.00, 35.73, 45.00]);  
54    break;  
55    case "c":  
56  ▼ browser.autopilot.flyTo(['obj', -122.188130, 46.202126, 'fix', 882.39,  
57    176.89, -15.98, 0.00, 10766.96, 45.00]);  
58    break;  
59  }  
60  }  
61  }  
62  }  
63  }  
64  }  
65  }  
66  }  
67  }  
68  }  
69  }  
70  }  
71  }  
72  }  
73  }  
74  }  
75  }  
76  }  
77  }  
78  }  
79  }  
80  }  
81  }  
82  }  
83  }  
84  }  
85  }  
86  }  
87  }  
88  }  
89  }  
90  }  
91  }  
92  }  
93  }  
94  }  
95  }  
96  }  
97  }  
98  }  
99  }  
100 }
```